

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Uma Metodologia para Análise de Dados de
Perfuração de Poços de Desenvolvimento

Autor: **Clarice Augusta Carvalho Rabelo**
Orientador: **Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka**

UNIDADE Be
Nº CHAMADA: TUNICAMP
V. EX.
TOMBO BCCL 80057
PROC 168-148-09
C D X
PREÇO 11,00
DATA 30-01-09
BIB-ID

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

R112m Rabelo, Clarice Augusta Carvalho
Uma metodologia para análise de dados de perfuração
de poços de desenvolvimento / Clarice Augusta
Carvalho Rabelo. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Celso Kazuyuki Morooka
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto
de Geociências.

1. Poços de petróleo - Perfuração. 2. Perfuração
submarina. 3. Processamento de dados. I. Morooka,
Celso Kazuyuki. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Instituto de
Geociências. IV. Título.

Título em Inglês: Methodology for drilling data analysis applied to exploitation wells

Palavras-chave em Inglês: Well project, Drilling problems, Drilling data analysis

Área de concentração: Exploração

Titulação: Mestre em Ciências e Engenharia de Petróleo

Banca examinadora: João Carlos Ribeiro Plácido, José Ricardo Pelaquim Mendes, Ivan
Rizzo Guilherme

Data da defesa: 01/08/2008

Programa de Pós-Graduação: Ciências e Engenharia de Petróleo

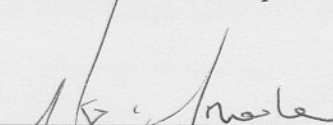
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Dedico este trabalho à minha família, com especial, aos meus pais, Margaret e Aglaê

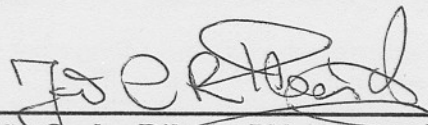
**Uma Metodologia para Análise de Dados de
Perfuração de Poços de Desenvolvimento**

Autor: Clarice Augusta Carvalho Rabelo
Orientador: Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka

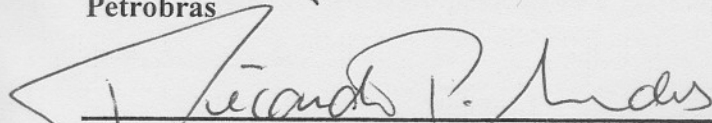
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



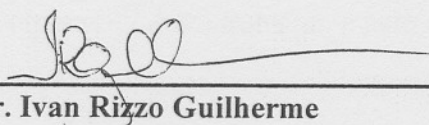
Prof. Dr. Celso Kazuyuki Morooka, Presidente
UNICAMP



Eng. Dr. João Carlos Ribeiro Plácido
Petrobras



Prof. Dr. José Ricardo Pelaquim Mendes
UNICAMP



Prof. Dr. Ivan Rizzo Guilherme
UNESP

Campinas, 01 de Agosto de 2008

200901964

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial, aos meus pais, Margareth e Aglaê.

Agradecimento

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio de diversas pessoas, às quais presto meus sinceros agradecimentos.

À minha família, pelo amor e incentivo. Em especial aos meus pais, cujo apoio em todos os momentos da minha vida foi fundamental para que eu obtivesse mais esta conquista, e aos meus primos, Ary e Daniela, que me acolheram em Campinas de uma forma muito carinhosa.

Ao meu namorado, Schwan, pela paciência nos momentos difíceis e pelo companheirismo de todas as horas.

Ao Prof. Celso Morooka, pela oportunidade de poder realizar este trabalho e pela orientação na busca pelo conhecimento científico.

Ao meu co-orientador, Dr. Kazuo Miura, pelas importantes contribuições feitas para este estudo e por todo conhecimento compartilhado.

Ao Prof. Ivan Rizzo, pelo apoio e aconselhamentos que ajudaram a melhorar a qualidade desta dissertação.

Um agradecimento especial ao Prof. José Ricardo, pelas valiosas idéias, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e pelo exemplo de competência.

Aos amigos, pelas palavras de encorajamento e amizade.

Aos colegas e professores do DEP, pelo auxílio durante esta minha jornada. Em especial à Beth, Naissa e Denis, cujas mãos substituíram as minhas nos momentos em que não pude estar presente na Unicamp.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

E, finalmente, a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

Resumo

RABELO, Clarice Augusta Carvalho, *Uma Metodologia para Análise de Dados de Perfuração de Poços de Desenvolvimento*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 100 p Dissertação (Mestrado).

A crescente complexidade dos ambientes explorados e o avanço tecnológico são elementos que caracterizam o dinâmico cenário da Indústria de Perfuração e que têm promovido uma mudança no perfil dos poços perfurados. Dentro desse contexto, o planejamento e elaboração de projetos mais eficientes são ferramentas a serem utilizadas para controlar custos e promover operações mais seguras. Um dos principais aspectos deste processo é o conhecimento da região explorada que pode ser obtido de duas formas: através da experiência de profissionais especialistas e de ferramentas de análise de dados. Nesse sentido, o trabalho desenvolvido propõe uma metodologia para analisar dados de perfuração, focando no estudo de anormalidades, com o objetivo de identificar elementos importantes a serem considerados em projeto a fim de garantir melhores operações. Para tanto, foi realizado um estudo sobre o tema Planejamento e Projeto de Poço, tendo sido feito também um levantamento dos principais conceitos relacionados com Análise de Dados e Problemas de Perfuração. Ao final do trabalho, é apresentado um estudo de caso utilizando dados de poços reais a fim de demonstrar uma aplicação da metodologia.

Palavras Chave

Poços de Petróleo – Perfuração, Perfuração Submarina, Processamento de Dados

Abstract

RABELO, Clarice Augusta Carvalho, *Methodology for Drilling Data Analysis Applied to Exploitation Wells*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado).

The increasing complexity of environments explored and the technology advance characterize a dynamic scenario of Drilling Industry, which has lead to changes in well profiles. Such aspects emphasize the importance of well planning in order to obtain more efficient operations in economical and safety terms. A key point of this process is the knowledge about the area explored, which can be obtained from two different ways: from experts experience and from data analysis tools. In this way, this study proposes a methodology to analyze drilling data and abnormalities with the aim to identify important project parameters that have influence on operational performance. The methodology was developed by performing a previous study about subjects like Well Planning, Well Project, Data Analysis and Drilling Problems. In order to verify its application, a case study using real drilling data was also performed at the end of this work.

Key Words

Well Project, Drilling Problems, Drilling Data Analysis

Índice

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura	xiv
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Motivação do Estudo	3
1.2 Objetivos do Trabalho	3
1.3 Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2. Revisão da Literatura.....	6
2.1 Importância do Planejamento na Perfuração de um Poço	6
2.2 Projeto de Poço.....	9
2.3 Análise de Dados de Perfuração.....	18
Capítulo 3. Fundamentos Teóricos sobre Problemas de Perfuração	24
3.1 Caracterização de Problemas Típicos de Perfuração.....	25
3.2 Parâmetros Associados a Problemas de Perfuração	33
3.2.1 Regime de Tensões <i>In-Situ</i>	33
3.2.2 Pressão da Formação	34
3.2.3 Litologia	35
Capítulo 4. Metodologia Proposta para Análise de Dados de Perfuração.....	37
4.1 Aquisição e Organização dos Dados	39

4.2 Análise dos Dados	42
4.2.1 Características e Duração das Fases de Perfuração	42
4.2.2 Análise Automatizada dos Boletins de Perfuração	45
4.2.3 Levantamento do Tempo Não-Produtivo	49
4.3 Gerenciamento da Informação e Aplicação em Novos Projetos	51
4.4 Considerações sobre a Metodologia Proposta.....	55
Capítulo 5. Resultados e Análise.....	57
5.1 Aquisição e Organização dos Dados	57
5.2 Análise dos Dados	58
5.2.1 Características e Duração das Fases de Perfuração	58
5.2.2 Análise Automatizada dos Boletins de Perfuração	60
5.2.3 Levantamento do Tempo Não-Produtivo	64
5.3 Gerenciamento da Informação e Aplicação em Novos Projetos	69
5.4 Considerações sobre os Resultados do Estudo de Caso	82
Capítulo 6. Conclusões.....	86
Referências Bibliográficas.....	90
Anexo I. Dicionário de Problemas de Perfuração	93
Anexo II. Esquema dos Poços Analisados no Estudo de Caso	96
Anexo III. Gráfico de Pareto dos Problemas Identificados	99

Lista de Figuras

Figura 1.1. Processo de desenvolvimento do trabalho.	4
Figura 2.1. Esquema que ilustra os principais elementos que compõem o processo de planejamento de um poço.	9
Figura 2.2. Esquema de um poço marítimo otimizado, onde a fase intermediária foi suprimida do projeto original, também como poço <i>slender</i>	10
Figura 2.3. Atividades envolvidas no projeto de um poço (Mendes, 2001).	12
Figura 2.4. Conhecimento da Engenharia de Poço (Lagrecia <i>et al</i> , 2004).	19
Figura 2.5. Diagrama relacionando os tempos de duração para perfuração de um poço (Adeleye <i>et al</i> , 2004).	20
Figura 2.6. Ciclo de execução e planejamento de um poço (Nakagawa <i>et al</i> , 2005).	22
Figura 3.1. Poço com problema de alargamento.	25
Figura 3.2. Poço com a presença de batentes.	26
Figura 3.3. Poço com problema de chavetas (Oilfield Review, Summer 1999).	27
Figura 3.4. Poço com problema de desmoronamento (Oilfield Review, Summer 1999).	27
Figura 3.5. Poço com problema de fechamento de poço (Oilfield Review, Summer 1999).	28
Figura 3.6. Poço com problema de <i>kick</i>	29
Figura 3.7. Poço com problema de perda de circulação.	30
Figura 3.8. Poço com problema de prisão de coluna por pressão diferencial (Oilfield Review, Summer 1999).	31
Figura 3.9. Janela para operacional de um poço.	35
Figura 4.1. Esquema da metodologia proposta.	38
Figura 4.2. Dados utilizados na metodologia.	40

Figura 4.3. Boletim diário de perfuração.....	41
Figura 4.4. Exemplo de curva de Profundidade vs Tempo.	43
Figura 4.5. Metodologia para classificação e análise dos boletins (Miura <i>et al</i> , 2003).	46
Figura 4.6. Dicionário de radicais elaborado utilizando o PhDic.....	47
Figura 4.7. Exemplo de conceitos contidos no dicionário de problemas (tela do PhDic).....	47
Figura 4.8. Exemplo de classificação de um texto utilizando o dicionário elaborado.	48
Figura 4.9. Exemplo de patamar que pode ser identificado nesse tipo de gráfico.	50
Figura 4.10. Curva de aprendizado.	53
Figura 4.11. Somatório dos comprimentos de trechos repassados por azimuth.....	54
Figura 5.1. Curva Profundidade vs Tempo - Poço 4.	59
Figura 5.2. Gráfico de Pareto dos problemas encontrados no poço 4.	62
Figura 5.3. Problemas mapeados na trajetória do poço 4.....	64
Figura 5.4. Curva Profundidade vs Tempo do poço 3 - Fase 12 ¼”.	65
Figura 5.5. Curva obtida para o poço 9 na fase 12 ¼” - trecho de 2000m a 2500m	67
Figura 5.6. Curva Profundidade vs Tempo – Poços 5, 7 e 9	70
Figura 5.7. Curva Profundidade vs Tempo – Poços 3, 6 e 8.....	71
Figura 5.8. Tempo não-produtivo por profundidade vertical.	73
Figura 5.9. Problemas mapeados na trajetória dos poços – Profundidade vs Afastamento.	74
Figura 5.10. Problemas mapeados nas trajetórias dos poços.....	75
Figura 5.11. Repasse e Tempo não-produtivo vs Azimute.	76
Figura 5.12. Repasse e Tempo não-produtivo vs Inclinação.....	77
Figura 5.13. Tempo não-produtivo por tipo de poço.	77
Figura 5.14. Percentual de tempo não-produtivo por tipo de fluido.	78
Figura 5.15. Percentual de tempo não-produtivo por tipo de formação.....	79
Figura 5.16. Janela operacional – Poço 8.....	80
Figura 5.17. Tempo perdido com eventos anormais durante a perfuração dos poços- Sonda B....	81
Figura 5.18. Tempo perdido com eventos anormais durante a perfuração dos poços – Sonda A..	82

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Fatores associados à ocorrência de problemas geomecânicos.....	32
Tabela 4.1. Informações a serem utilizadas em novos projetos.	56
Tabela 5.1. Poços analisados.....	57
Tabela 5.2. Dicionário com exemplos de problemas caracterizados.....	60
Tabela 5.3. Problemas encontrados na perfuração do poço 4.	61
Tabela 5.4. Grupos de poços de correlação.....	69
Tabela 5.5. Problemas de perfuração – Fase de produção.....	72
Tabela 5.6. Resumo das etapas de aplicação da metodologia proposta.	85

Nomenclatura

Abreviações

BCT – *Best Composite Time*

BCC – *Best Composite Cost*

BDP – Boletim Diário de Perfuração

BHA – *Bottom Hole Assembly*

BOP – *Blowout Preventer*

DDI – *Directional Difficulty Index*

ECD – *Equivalent Circulating Density*

LWD – *Logging While Drilling*

MWD – *Measurement While Drilling*

Siglas

LIAP – Laboratório de Inteligência Artificial aplicada ao Petróleo

Capítulo 1

Introdução

A indústria *upstream* de petróleo é inserida em um cenário complexo, caracterizado por um grande dinamismo devido às constantes mudanças envolvendo aspectos econômicos, tecnológicos, operacionais e ambientais. Este dinamismo, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias e a busca pela maximização da recuperação de óleo, são os elementos que têm direcionado o setor para uma mudança do perfil dos poços perfurados.

A crescente complexidade dos ambientes explorados também pode ser apontada como uma das principais causas desta mudança de perfil. O avanço da exploração em águas ultra profundas, a construção de poços horizontais de longa extensão, a perfuração de poços atravessando extensas zonas de sal, o desenvolvimento de reservatórios de alta pressão e alta temperatura e óleos pesados são apenas alguns dos desafios que o avanço tecnológico da indústria de perfuração tem superado.

Além disso, o que se observa na atual realidade do mercado com a crescente ascensão do preço do barril do petróleo é uma grande valorização de todos os recursos envolvidos na atividade exploratória. Os custos de equipamentos, ferramentas e serviços associados a esta indústria encontram-se super faturados, recursos como sondas de perfuração e outros equipamentos estão cada vez mais caros e raros de se encontrar.

Todas essas mudanças acarretam em maiores custos operacionais. A maior demanda por recursos associada aos fatores já citados resulta em investimentos de bilhões de dólares anuais por parte das empresas do setor.

Dentro desse contexto, é possível ter uma dimensão da importância de um bom planejamento operacional a fim de garantir o sucesso nas atividades executadas. Diversos trabalhos podem ser encontrados na literatura destacando a fase de planejamento como sendo um valioso recurso a ser utilizado. Thorogood *et al* (2000), por exemplo, afirmam que a falta de planejamento e antecipação de eventos são dois dos principais fatores responsáveis pela ocorrência de anormalidades.

Estudos têm demonstrado que 10 a 20% do tempo de sonda é gasto resolvendo problemas não previstos. É importante ressaltar novamente que este tempo perdido, considerando o atual cenário, pode significar prejuízo de milhões de dólares com apenas uma operação. No caso de ocorrência de anormalidades associadas à estabilidade de poço, os custos extras podem chegar a 15 % do valor total previsto para o projeto (Santarelli *et al*, 1996).

Nesse sentido, a experiência adquirida no desenvolvimento de atividades em campo é uma importante fonte de conhecimento que pode ser utilizada para melhorar o desempenho das operações e reduzir o tempo perdido com anormalidades. Ao consolidar esse conhecimento e aplicá-lo de maneira sistematizada na elaboração de novos projetos, é seguro que estarão sendo utilizadas as melhores soluções/técnicas disponíveis, antecipando riscos, prevenindo ou minimizando efeitos de possíveis anormalidades encontradas em uma determinada área.

No entanto, a literatura ainda se ressentir de metodologia para suportar tal processo e, na prática, o que se observa é a subutilização de informações disponíveis que têm grande valor pelas razões já mencionadas. Entre os prováveis motivos para tal realidade, podem ser apontados a própria demanda de tempo para efetuar essa análise, que pode ser muito elevada, e a pouca disponibilidade de especialistas para fazê-la.

Assim, ciente da grande importância e do valor desse conhecimento na elaboração de melhores projetos, o presente trabalho apresenta uma metodologia de análise de dados como maneira de consolidar o conhecimento a partir de operações realizadas em campo, tornando o processo de aquisição deste conhecimento mais simples de ser aplicado no dia a dia dos especialistas. Com isso, espera-se que o conhecimento e a informação obtidos com essa análise passem a ser agregados na elaboração de projetos e no planejamento das atividades, ainda muito baseada na experiência de profissionais especialistas.

1.1 Motivação do Estudo

O desenvolvimento de novas tecnologias na atividade de perfuração tem proporcionado um melhor controle das operações e disponibilizado um volume de dados cada vez maior. Com isso, a importância do processo de análise de dados vem sendo ressaltada de maneira crescente em trabalhos publicados em atividades da área de Exploração em Engenharia de Petróleo.

No entanto, muitos autores ainda não reconhecem a formalização de ferramentas e processos concretos que constituam a análise de dados de perfuração para aquisição e transferência do conhecimento. O que ocorre em muitas companhias do setor é a geração de um enorme montante de dados diariamente com as operações executadas que não são utilizados de maneira efetiva para melhoria dos processos.

Nesse sentido, o presente trabalho vem a contribuir através de uma metodologia proposta para análise de dados de perfuração, com o objetivo de verificar as melhores práticas e lições aprendidas em operações de campo (conhecimento muitas vezes negligenciado) como forma de melhorar o desempenho das atividades. Os objetivos do trabalho são apresentados a seguir.

1.2 Objetivos do Trabalho

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a análise de dados de perfuração como forma de consolidar o conhecimento proveniente das operações de campo no setor de perfuração.

Desta forma, o trabalho desenvolvido possui um objetivo principal:

- Propor uma metodologia para tratamento e análise de dados de perfuração obtidos a partir de operações de campo (boletins de perfuração e *mudlogging*) visando consolidar o conhecimento das áreas em estudo e, com isso, identificar informações relevantes para elaboração de novos projetos (melhores parâmetros a serem aplicados, problemas esperados, etc) de maneira a proporcionar melhor desempenho na execução das operações futuras.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para desenvolvimento deste trabalho, foi seguido um plano que dividiu sua execução em quatro etapas distintas. A Figura 1.1 ilustra os passos realizados e a importância de cada um para a conclusão do estudo.

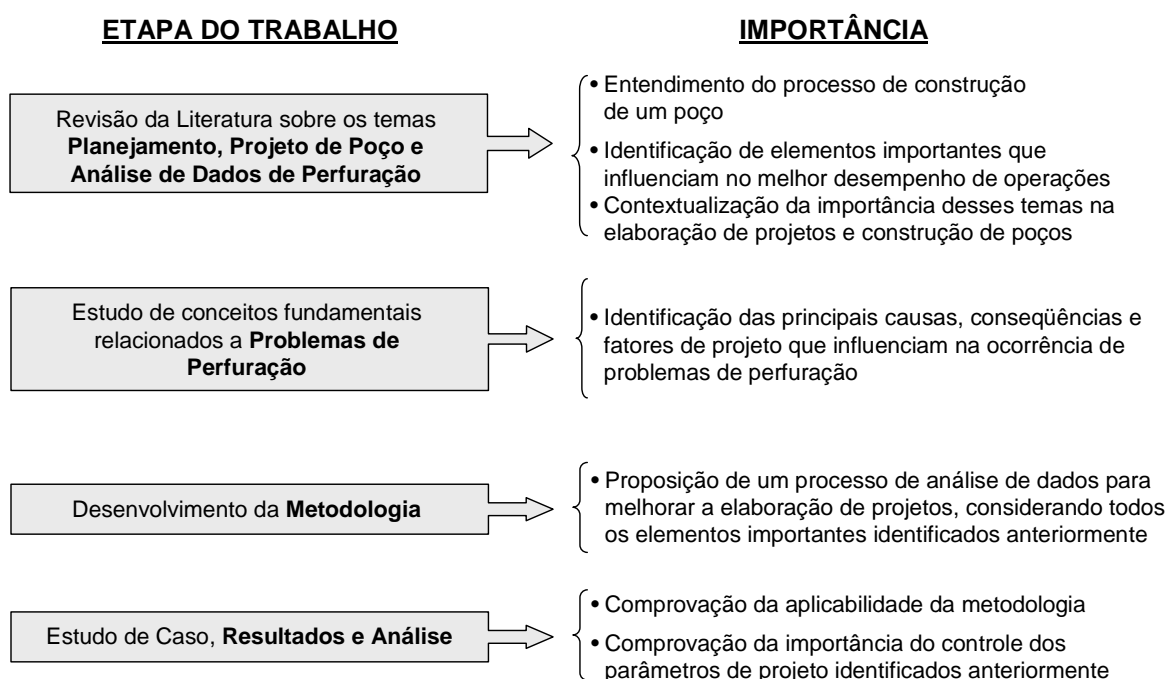


Figura 1.1. Processo de desenvolvimento do trabalho.

Desta forma, este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão de trabalhos disponíveis na literatura sobre os temas Planejamento e Projeto de Poço, contendo uma breve descrição das atividades envolvidas neste processo. Este capítulo também apresenta uma seção que destaca a importância da análise dos dados de perfuração no planejamento de um poço com o objetivo de obter operações mais eficientes.

No Capítulo 3, são apresentados alguns aspectos fundamentais associados a Problemas de Perfuração, descrevendo as anormalidades mais comuns e alguns dos principais fatores associados à sua ocorrência.

No Capítulo 4, é feita a descrição da metodologia que está sendo proposta neste trabalho, ressaltando os principais aspectos de sua aplicação.

No Capítulo 5, é apresentado um estudo de caso utilizando a metodologia apresentada e dados reais de poços perfurados em um campo marítimo no Brasil. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos com uma análise dos mesmos.

Finalmente, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões obtidas com o estudo realizado, além de conter algumas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre os temas Planejamento e Projeto de Poço. Inicialmente, é caracterizada a importância da fase de planejamento na construção de um poço, em seguida, contextualizando a etapa de elaboração de projetos como elemento necessário para garantir operações viáveis tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. A última seção do capítulo trata da etapa de Análise de Dados, onde é apresentada a abordagem de diferentes autores sobre o tema.

2.1 Importância do Planejamento na Perfuração de um Poço

O processo de construção de um poço em ambiente marítimo de lâmina d'água profunda é complexo e requer grande sincronia de todas as atividades envolvidas, desde o planejamento até sua execução. Planejar a perfuração de um poço é uma atividade multidisciplinar, de grande importância estratégica para a indústria *upstream* de petróleo, principalmente no atual cenário onde os custos envolvidos são cada vez maiores. De acordo com Gil e Roegiers (2002), é o grau de planejamento e antecipação dos problemas nos diferentes estágios do ciclo de vida de um poço que define a diferença entre um projeto eficiente e um mal sucedido.

No entanto, este planejamento não é um processo simples e engloba diversas atividades relacionadas com a perfuração de um poço. Quando bem executado, deve considerar todo o ciclo de vida do poço (da perfuração ao abandono) e ser desenvolvido por uma equipe integrada de geólogos, geofísicos, engenheiros de reservatório, engenheiros de perfuração, engenheiros de

produção, coordenação de logística e gerência financeira, garantindo, assim, que o plano seja compatível com os objetivos do projeto.

O trabalho de Mannon (2001) apresenta exemplo de uma metodologia que pode ser aplicada sistematicamente no planejamento de um poço com o objetivo de aumentar a eficiência das operações de perfuração. A metodologia descrita em seu trabalho consiste em três fases distintas: análise de dados, implementação das ações e avaliação.

A primeira fase trata da análise de dados com o objetivo de gerar um projeto inicial. Segundo o autor, é nesta etapa que ocorre a maioria das falhas, por não ser dedicado tempo suficiente para avaliação das informações disponíveis. A segunda fase trata da implementação do planejamento propriamente dito, com destaque para a utilização de ferramentas de acompanhamento em tempo real que permite avaliar os parâmetros utilizados na operação para otimizar o tempo de perfuração. A última fase consiste da avaliação geral das operações, identificando os pontos positivos e negativos encontrados ao longo do projeto. Segundo Mannon (2001), o que ocorre na prática algumas vezes é a negligência desta etapa, quebrando a cadeia de transferência de conhecimento e, como consequência, resultando em uma possível recorrência de problemas nos projetos.

Newman *et al* (2005) também ressaltam a importância da elaboração de um plano integrado, que equilibre os custos e a tecnologia associados ao projeto. Um bom planejamento, segundo os autores, baseia-se em quatro aspectos principais: escolha apropriada dos poços a serem perfurados (maiores chances de sucesso, melhor custo-benefício), análise de dados disponíveis e aplicação das informações, solução dos desafios técnicos esperados através da aplicação de tecnologia adequada e integração do conhecimento (engenheiros e técnicos envolvidos no planejamento e operação).

Finalmente, muitos autores reconhecem que a falta de planejamento pode acarretar diversos problemas durante a execução de um projeto. Nesse sentido, Bratton *et al* (2001) propõem a utilização de dados de poços de correlação para identificar possíveis zonas de risco. Através de

um estudo dos problemas e sucessos obtidos em experiências anteriores, os autores propõem que o desempenho das operações pode ser melhorado. Além disso, um registro dos possíveis eventos inesperados e a elaboração de um plano de ação para controlá-los são os elementos que garantem que a execução de um poço esteja de acordo com o planejamento previsto.

Outro trabalho onde é destacada a importância do planejamento é o de Clay e Hatch (1999). Os autores também afirmam que a maioria das deficiências dos processos está relacionada justamente a falhas de planejamento. Em seu trabalho, são descritas algumas práticas implantadas durante a fase de planejamento de um poço em uma empresa britânica de petróleo, as quais permitiram uma redução significativa do tempo de perfuração conforme resultados apresentados no estudo de caso. Entre as principais etapas de planejamento desta proposta, é possível destacar o estudo de diferentes alternativas de projeto a fim de escolher aquela que apresenta menores riscos e maior custo-benefício à companhia. Além disso, os autores defendem a utilização de ferramentas de avaliação para acompanhar o desempenho das operações executadas em campo.

Este último aspecto também é destacado no trabalho de Iyoho *et al* (2004). Nele, é apresentada uma metodologia que pode ser utilizada para analisar o desempenho de operações executadas em campo, e que consiste em um processo de dez etapas, entre as quais a utilização de curvas de aprendizado.

Miura (2004) apresenta uma metodologia onde o planejamento é parte importante na Engenharia de Poço e que consiste da aplicação do ciclo PCDA (*Plan* – Planejar, *Do* - Executar, *Check* - Avaliar & *Act* - Atuar) como técnica de melhoria da qualidade das operações baseada no planejamento. Nesta metodologia, o processo de perfuração de um poço é dividido em quatro etapas: Planejamento, Execução, Avaliação e Ação Integrada, para melhoria do desempenho das operações.

Finalmente, o planejamento pode ser visto como uma ferramenta estratégica para obtenção de operações mais eficientes, tratando-se de um processo amplo que vai desde a definição do objetivo do projeto, que guiará todo o processo, até a captação de recursos para sua execução. A

seguir, é apresentada na Figura 2.1 uma compilação dos principais elementos envolvidos neste planejamento e que foram destacados nos trabalhos citados anteriormente.

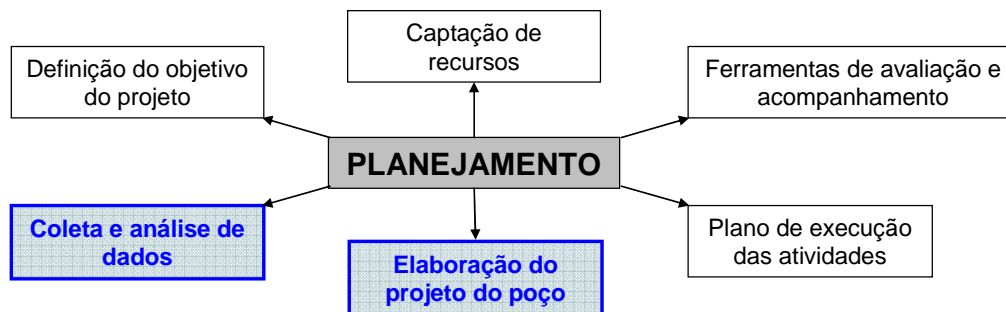


Figura 2.1. Esquema que ilustra os principais elementos que compõem o processo de planejamento de um poço.

Na Figura 2.1, a fase de análise de dados pode ser vista como o elemento que dá suporte para elaboração do plano, embasando o projeto do poço e fornecendo informações úteis para elaboração do plano de execução através da experiência e conhecimento adquirido em operações anteriores. Muitos autores também ressaltam a importância do acompanhamento desse plano, sempre avaliando a realização das tarefas e os problemas encontrados como fonte de aprendizado.

Desta forma, considerando os elementos apresentados na Figura 2.1, neste trabalho, é dada ênfase às fases de Coleta e análise de dados e Elaboração de projeto de poço, descritas nas seções subseqüentes.

2.2 Projeto de Poço

Como já foi apresentado anteriormente, o planejamento de um poço trata de um processo no qual estão previstas todas as atividades relacionadas com a construção do mesmo. Dentro deste planejamento, é possível destacar a fase de elaboração do projeto de poço, que consiste na definição do melhor *design*, considerando seu perfil e as condições de operação observadas, propondo uma atividade rentável e viável técnico-economicamente (Adams, 1985).

Segundo Sato (1992), dois aspectos são considerados fundamentais na elaboração de um projeto de perfuração: segurança e economia. O primeiro, por ser essencial para o desenvolvimento de atividades que não coloquem em risco o patrimônio humano e material envolvido. E o segundo, por ser o elemento que garante o controle dos custos associados ao projeto que, como já foi discutido, são bastante elevados.

Desta forma, o objetivo principal do projeto de poço é garantir a execução de operações de perfuração de maneira segura e econômica, considerando as melhores condições de aproveitamento para atender aos objetivos do planejamento.

Ainda, segundo Sato (1992), “projetar com economia é estudar a melhor configuração para o poço, assentando as sapatas dos revestimentos nas melhores posições para execução do mesmo no menor custo possível e dentro dos parâmetros exigidos para o fim ao qual se destina”. A Figura 2.2. ilustra o exemplo de uma configuração usual de poços marítimo contendo um esquema dos revestimentos assentados para as diferentes fases perfuradas.

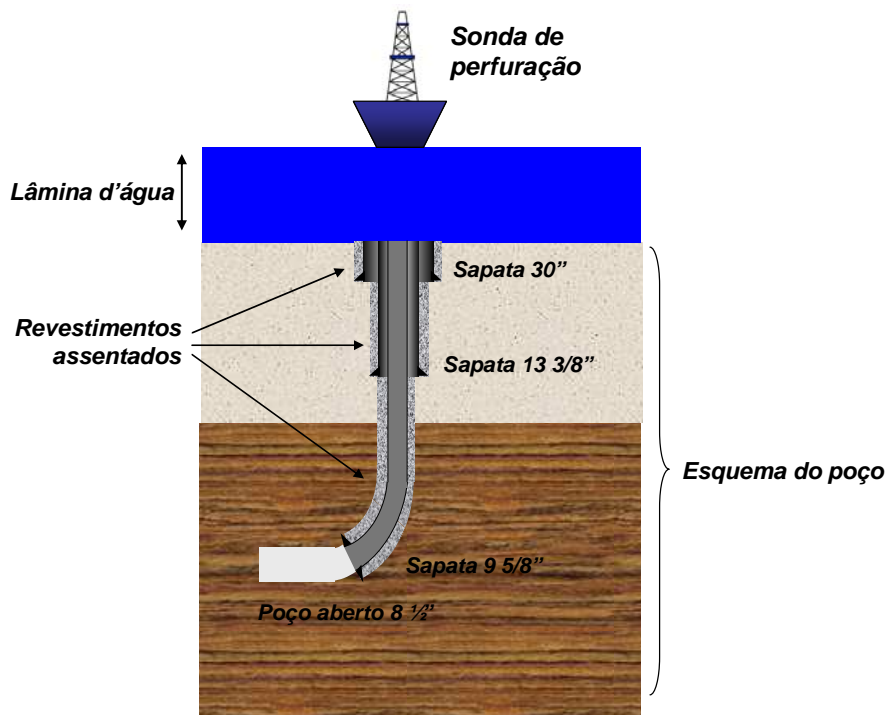


Figura 2.2. Esquema de um poço marítimo otimizado, onde a fase intermediária foi suprimida do projeto original, também como poço *slender*.

No esquema apresentado na Figura 2.2, observa-se um poço perfurado em três fases, com diferentes diâmetros. O número de fases de cada poço depende das características de cada um deles, por apresentarem diferentes formações e profundidades. Um dos aspectos mais importantes do projeto é justamente otimizar a perfuração dessas fases, de maneira a obter a melhor configuração a ser aplicada no poço (requer menor tempo de sonda e, conseqüentemente, menor custo, sem comprometer a segurança da operação). Nesse sentido, o conhecimento do campo é um fator de grande relevância para buscar essa otimização.

Para se chegar a uma configuração ótima do poço, garantindo também o fluxo de operações sem grandes problemas, é importante a participação de profissionais de diferentes áreas a fim de elaborar o melhor projeto possível e exeqüível dado o perfil de poço considerado. Desta forma, projetar é uma atividade multidisciplinar que requer grande interação entre as partes envolvidas de maneira a garantir que as operações de campo estejam em conformidade com os objetivos do projeto.

As principais atividades envolvidas com a elaboração do projeto de poço estão ilustradas na Figura 2.3, que destaca um ponto importante deste processo: a complementação entre as etapas que o compõem, caracterizando um processo iterativo, e a participação de diversos especialistas para elaboração de um bom projeto.

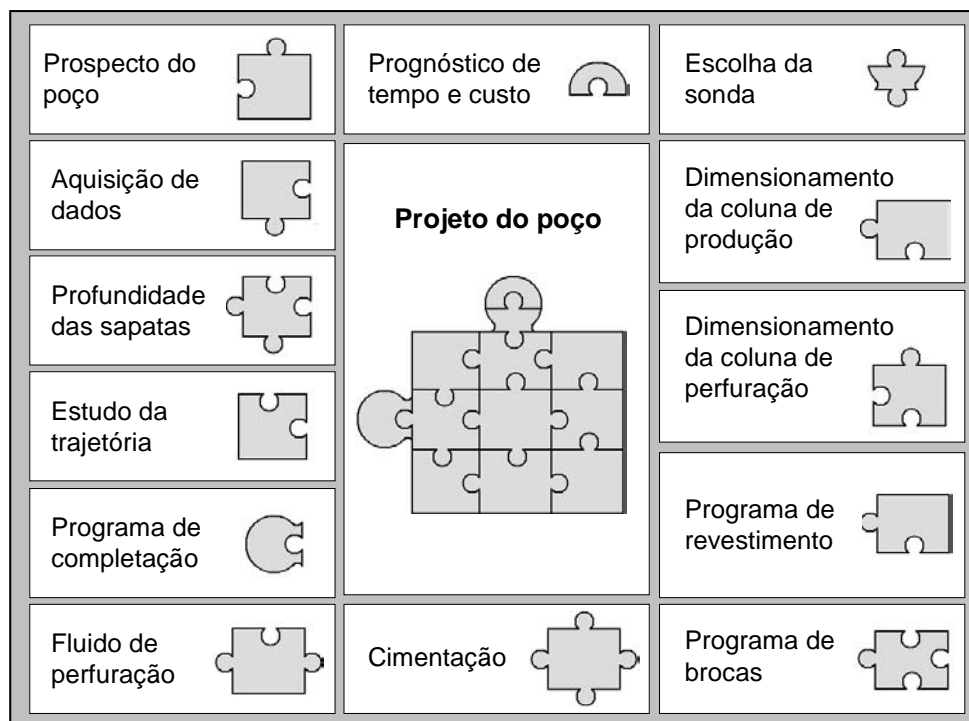


Figura 2.3. Atividades envolvidas no projeto de um poço (Mendes, 2001).

A seguir, é apresentada uma breve descrição das etapas apresentadas na Figura 2.3 e que compõem o processo de elaboração do projeto de poço com base nos trabalhos de Adams (1985) e Mendes (2001).

a) Prospecto de um poço

Documento que apresenta as primeiras informações recebidas para elaboração do projeto com as possíveis zonas de interesse (objetivos, topo das formações e pressões esperadas). O prospecto contém ainda, dados como a localização e mapas da área, e seu conteúdo e nível de detalhamento dependem, basicamente, da finalidade do poço.

b) Aquisição e análise de dados

Esta etapa fornece informações importantes que permitem um bom conhecimento da área a ser perfurada. A partir dos poços de correlação, é possível obter dados sobre problemas existentes no campo, brocas utilizadas, configuração das fases, entre outras informações.

A análise desses dados é um ponto fundamental para todo o processo, podendo determinar o nível de sucesso do projeto ao determinar os melhores parâmetros a serem utilizados na operação. Esta etapa é objeto de estudo deste trabalho, onde será apresentada no capítulo 4 uma metodologia para consolidar os dados disponíveis de campo, utilizando esse conhecimento na elaboração de novos projetos.

c) Estudo da trajetória

Uma das primeiras etapas na elaboração de um projeto é determinar o posicionamento da cabeça do poço. No caso de poços direcionais, é preciso ter atenção especial nesse posicionamento para não resultar em projetos com taxas de ganho de ângulo severas ou afastamento muito grande do objetivo.

Nesse estudo, é importante analisar diferentes opções de trajetória para escolher aquela que melhor se adequa ao objetivo proposto, atentando sempre para as limitações dos equipamentos (inclusive a sonda) e outras possíveis restrições. A escolha da melhor trajetória depende de fatores como inclinação das camadas, existência de fraturas ou falhas, entre outros aspectos.

Esta é uma das etapas que exige maior interação entre profissionais de diferentes disciplinas como geólogos, engenheiros de perfuração e engenheiros de reservatório, além de outras especialidades. Atualmente, são diversos os recursos que auxiliam os especialistas a definir a melhor trajetória de um poço. *Softwares* e outras soluções de alta tecnologia permitem realizar um acompanhamento da perfuração em tempo real, inclusive com a possibilidade de realizar uma navegação virtual na formação.

d) Profundidade de assentamento das sapatas

A determinação da profundidade de assentamento das sapatas depende, principalmente, das pressões da formação (pressão de poros e gradiente de fratura). Um dos métodos mais aplicados para determinar esses valores utiliza o conceito de *kick tolerance*, o qual limita a profundidade da fase garantindo que, no caso de um *kick* de determinado volume (valor adotado em projeto), o poço poderá ser fechado e o gás circulado sem fraturar a formação mais fraca exposta.

Outros fatores também podem determinar o assentamento de um revestimento como, por exemplo, a existência de zonas de perdas de circulação, formações muito inconsolidadas suscetíveis a desmoronamentos, zonas de sal, requisitos do projeto direcional, entre outros. Geralmente, para construção de um novo poço, esses parâmetros são estimados a partir de dados de poços de correlação e utilizados na determinação da profundidade ótima a serem assentadas as sapatas dos revestimentos.

e) Dimensionamento dos revestimentos

Uma vez determinadas a profundidade de assentamento das sapatas dos revestimentos, o dimensionamento da coluna de revestimentos depende, basicamente, das tensões que irão atuar na coluna na sua instalação no poço e durante toda a vida útil (são considerados os esforços de tração, compressão, pressão interna e colapso, já embutidos os fatores de segurança a fim de minimizar o risco de falha).

No caso do revestimento de produção, este dimensionamento depende ainda do projeto de completação, considerando o método de elevação previsto, diâmetro da coluna de produção, vazão e propriedades do fluido a ser produzido.

f) Completação

Um dos principais objetivos de um projeto de completção é garantir uma boa produtividade do poço, otimizando a drenagem do reservatório e escolhendo a melhor configuração para escoamento do fluido produzido, sempre atendendo aos critérios de segurança e custo da empresa.

Os projetos de completção e perfuração devem sempre estar em concordância a fim de garantir o sucesso do empreendimento e a segurança das operações. Entre os principais aspectos considerados nesta etapa estão finalidade do poço (produção, injeção), método de elevação artificial, localização e número de zonas produtoras.

g) Fluido de perfuração

Sua importância está associada não só aos custos dos diferentes tipos de fluidos disponíveis em mercado, mas principalmente pela influência que este parâmetro tem na segurança e estabilidade do poço. A escolha do tipo de fluido mais adequado à formação, bem como a determinação do peso ideal a ser utilizado nas diferentes fases perfuradas do poço, são elementos fundamentais para evitar a ocorrência de problemas de instabilidade geomecânica.

A fase do poço (inicial, *buil up*, perfuração no reservatório), tipo de formação a ser perfurada, tempo de exposição à formação e temperatura são apenas alguns dos fatores considerados na escolha do tipo de fluido a ser utilizado. Já a determinação do peso ótimo do fluido depende, basicamente, das pressões de poro e de fratura da formação. Além da importância de garantir a estabilidade geomecânica do poço, um bom programa de fluidos também pode ajudar a melhorar a taxa de penetração, reduzindo o tempo de perfuração.

h) Cimentação

A principal função de um projeto de cimentação é garantir o isolamento da sapata do revestimento e das diferentes zonas da formação. A escolha da pasta de cimento a ser utilizada depende das condições encontradas no poço, como temperatura, pressão, profundidade, entre outros aspectos. Geralmente, uma pasta de melhor qualidade é usada nas profundidades das zonas de interesse. Além disso, o peso da pasta de cimento e as velocidades de bombeio devem estar de acordo com as pressões da formação (poros e fratura) a fim de garantir a segurança da operação.

A qualidade da cimentação é avaliada através de perfis corridos dentro do revestimento durante a completação do poço, sendo necessário, em alguns casos, realizar correções dessa cimentação (*squeeze* ou recimentação, também conhecidos como cimentação secundária).

i) Seleção de brocas

Apesar do baixo custo de uma broca quando comparada ao projeto do poço, o programa de brocas tem influência direta no desempenho da perfuração e, conseqüentemente, no custo do metro perfurado. A escolha de uma broca inadequada pode ser determinante para um atraso na operação (pequena taxa de avanço), podendo ainda gerar tempo perdido com manobras não previstas para troca de broca ou outros problemas.

Geralmente, a definição de um programa de brocas se baseia muito na experiência do engenheiro responsável. No entanto, podem ser utilizados dados de poços de correlação como fonte de conhecimento complementar. Dessa forma, é possível verificar o desempenho das brocas (taxa de penetração, custo do metro perfurado, metragem perfurada, etc) em formações semelhantes, permitindo uma escolha mais adequada ao projeto e menos empírica. Os principais fatores que afetam esta seleção são: litologia da formação, características da broca (dados dos fabricantes), projeto direcional e o fluido de perfuração utilizado.

j) Dimensionamento da coluna de perfuração

Dimensionar a coluna de perfuração é basicamente definir o BHA (*Bottom Hole Assembly*) do poço. A coluna deve resistir aos esforços de tração e compressão, e o dimensionamento deve atentar ainda para os esforços durante a rotação da coluna (torque excessivo) e possíveis falhas por fadiga.

A composição da coluna, ou seja, a distribuição dos elementos tubulares (tubo de perfuração, comandos, estabilizadores, etc) e os parâmetros utilizados na perfuração devem ser tais a garantir que a coluna não trabalhe sob esforços de flambagem, melhorando o desempenho da atividade. Alguns dos elementos necessários ao dimensionamento da coluna de perfuração são: trajetória do poço, profundidade prevista da coluna, densidade do fluido de perfuração e peso sobre broca.

k) Sondas de perfuração

As sondas de perfuração são responsáveis por grande parte do custo de perfuração de um poço. Daí a importância da escolha da sonda mais adequada à atividade, garantindo que suas características estejam de acordo com a demanda do projeto.

A escolha da sonda depende de aspectos como: localização da zona a ser perfurada, lâmina d'água, condições do mar e relevo do leito marinho, finalidade do poço, profundidade final esperada (capacidade de tração, compensadores, etc), relação custo-benefício, treinamento e experiência da equipe de profissionais da sonda.

l) Prognósticos de tempo e custo

Finalizado o projeto do poço, a etapa final é a estimar o custo do poço e o tempo necessário para completar a operação. Os custos geralmente são separados por fase (perfuração,

completação) e por materiais (revestimentos, fluido, etc), serviços (direcional, cimentação, etc) e sonda. Geralmente, o prognóstico de tempo é feito com base nos poços de correlação.

Como foi visto, muitas das etapas necessárias para elaboração do projeto de um poço requerem informações de outros poços já perfurados. A análise desses dados é um elemento de grande importância a fim de garantir que o projeto seja adequado às peculiaridades de cada campo e estimando os melhores parâmetros a serem aplicados. A última seção deste capítulo apresenta elementos relacionados com Análise de Dados voltados para Perfuração de Poços de Petróleo.

2.3 Análise de Dados de Perfuração

Como já foi dito, um dos aspectos mais importantes dentro do projeto de um poço é o conhecimento da área na qual o mesmo será perfurado. A determinação das características esperadas e dos possíveis problemas a serem encontrados em um poço é fundamental para garantir o sucesso das operações.

Segundo Adams (1985), “um poço não pode ser planejado devidamente se os ambientes esperados não são conhecidos”. Desta forma, a aquisição e análise de dados para obtenção de tal conhecimento é o elemento que possibilitará o planejamento e construção de um poço de maneira adequada.

A crescente importância desta área pode ser verificada em trabalhos recentes, dentre os quais estão os de Lagreca *et al* (2004), Adeleye *et al* (2004), Nakagawa *et al* (2005) e Iyoho *et al* (2005). O primeiro deles apresenta a análise de dados de perfuração já como uma área de especialização dentro da Engenharia de Poços, como pode ser visto na Figura 2.4.

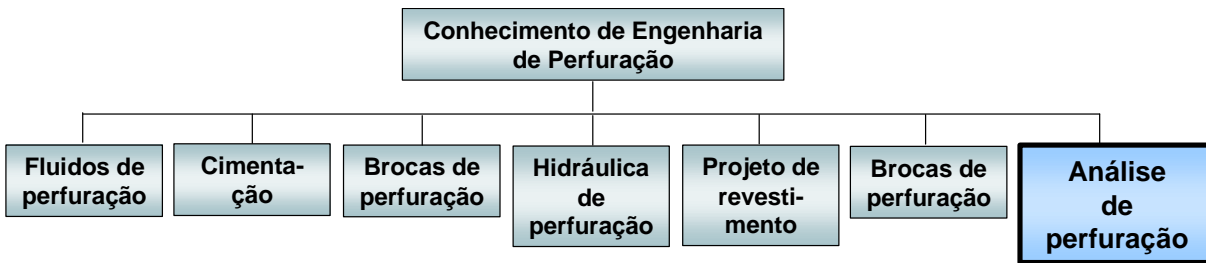


Figura 2.4. Conhecimento da Engenharia de Poço (Lagrec *et al*, 2004).

Segundo Lagrec *et al* (2004), o principal objetivo dessa área de especialização é prover suporte para o processo de decisão relacionado ao planejamento e perfuração de poços, melhorando, assim, o desempenho das operações.

Este suporte é fornecido através de processos sistemáticos para análise de informações (dados armazenados), podendo, inclusive, ser em tempo real. Algumas teorias consideradas pelos autores são curvas de aprendizado, análise de risco, sistemas especialistas, estatística e outras relacionadas à atividade de perfuração.

Adeleye *et al* (2004) reconhecem a subutilização de metodologias para análise de dados quando se trata de promover a eficiência das operações. Segundo os autores, apesar de existirem muitos trabalhos desenvolvidos que apresentam métodos para otimizar o processo de construção de um poço, poucos deles tratam desta melhoria através de uma análise sistemática de dados.

Nesse trabalho, os autores propõem uma metodologia que incorpora um processo de investigação para identificar o que os autores chamam de tempo invisível, ou tempo perdido não convencional. A Figura 2.5 ilustra o conceito de tempo invisível.

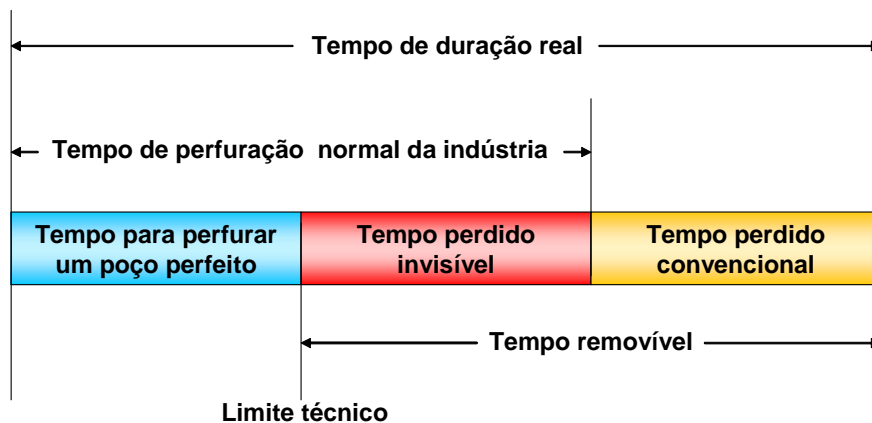


Figura 2.5. Diagrama relacionando os tempos de duração para perfuração de um poço (Adeleye *et al*, 2004).

No diagrama acima, a área em azul corresponde ao tempo que seria gasto para perfurar um poço perfeito, sem problemas. Esse tempo pode ser estimado através da composição dos melhores tempos obtidos nas atividades executadas durante a perfuração de diversos poços em uma dada região, resultando assim no melhor tempo possível de ser alcançado em uma operação (BCT – *Best Composite Time*).

A área em laranja corresponde ao tempo não-produtivo convencional. Esse tempo, geralmente, está associado a eventos anormais, como problemas de falha de equipamento, controle de poço, instabilidade geomecânica, entre outros.

Já a área em vermelho, está relacionada com a performance das operações executadas na perfuração do poço. Sua identificação não é tão trivial como a do tempo não-produtivo convencional e requer uma análise mais específica dos tempos de duração das atividades realizadas. A avaliação do tempo de duração dessas atividades para diferentes poços perfurados em uma dada região permite identificar os tempos médios de duração da mesma, bem como as melhores e piores performances.

Esta análise fornece uma idéia do desempenho das atividades executadas, identificando quais podem ser melhoradas (ou seja, ter seu tempo de duração reduzido), e estabelecendo, assim, um objetivo comum de performance para as próximas operações que é plausível de ser alcançado.

A análise de dados realizada pelos autores consistiu, basicamente, no levantamento dos tempos de operação como perfuração (tempo de broca no fundo), manobra e manuseio de ferramentas, operações de BOP e cabeça de poço, assentamento de revestimento e cimentação, perfilagem de avaliação e testemunhagem, além de sísmica de poço.

Resultados da aplicação prática desta metodologia demonstraram grandes avanços no desempenho das operações, identificando as atividades críticas que poderiam ser melhoradas. Desta forma, foi obtida uma redução significativa no tempo de perfuração médio dos poços (37%), nos custos (15%) e no tempo perdido convencional (reduzido em cerca de 40%).

Outros bons resultados da aplicação de uma análise integrada de dados de perfuração podem ser vistos no trabalho de Iyoho *et al* (2005). Através da aplicação de uma metodologia que integra a utilização de curvas de aprendizado e levantamento do BCT e BCC, a performance na execução das operações de perfuração é melhorada, com redução dos tempos não-produtivos e, conseqüentemente, dos custos dos projetos.

Além das teorias citadas anteriormente, os autores também propõem um levantamento dos problemas encontrados a fim de relacionar os mesmos com parâmetros de perfuração (pressão de poros, peso da lama, entre outros). O objetivo é investigar as causas dos eventos anormais e, assim, prevenir novas ocorrências através de melhorias implantadas em novos projetos.

O trabalho de Nakagawa *et al* (2005) também enfatiza o processo de análise de dados como “forma de aperfeiçoar os processos de superfície e sub-superfície, incluindo aspectos operacionais e de projeto”. A aquisição e uso do conhecimento a partir da disponibilidade de informações é o elemento que abre oportunidade para a realização do ciclo ideal de melhoria operacional, ilustrado na Figura 2.6.

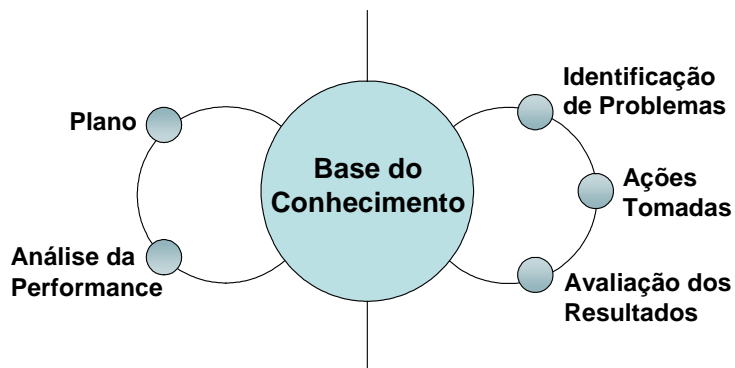


Figura 2.6. Ciclo de execução e planejamento de um poço (Nakagawa *et al*, 2005).

A base de conhecimento é estruturada a partir da análise de dados históricos, como avaliação do desempenho de operações, análise de riscos, tempo e custo. O objetivo é aprender com a experiência e otimizar os processos com através desse ciclo de transferência de conhecimento.

Com base na idéia apresentada, os autores propõem uma metodologia para facilitar a coleta e armazenagem de dados, que, segundo os mesmos, são aspectos fundamentais para garantir a qualidade das informações. Esta metodologia é baseada em um sistema de codificação das operações a ser realizado ainda na fase de planejamento, facilitando, assim, o processo de acompanhamento das atividades em campo e, conseqüentemente, a qualidade dos dados gerados.

Finalmente, outros trabalhos também têm destacado a importância da análise de dados como meio de gerenciar o desempenho das operações de perfuração. Todos os autores reconhecem, no entanto, a necessidade de uma coleta apropriada e a garantia de dados de qualidade e de confiança. Segundo Lagreca *et al* (2004), “é a quantidade e qualidade de dados de campo disponível que ditará a qualidade dos resultados, que têm implicações no processo de decisão enquanto planejando ou perfurando”.

Apesar dos diversos estudos que têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, muitos autores ainda não reconhecem a formalização de ferramentas e processos concretos que constituam a análise de dados de perfuração. O que ocorre em muitas companhias do setor é a geração de um

enorme montante de dados diariamente com as operações de perfuração que não são utilizados de maneira efetiva e sistemática.

Nesse sentido, o presente trabalho vem a contribuir propondo uma metodologia para análise de dados de perfuração a fim de consolidar o conhecimento adquirido em operações de campo, por vezes negligenciado no planejamento, seja pela pouca disponibilidade de tempo dos especialistas seja pela falta de processos sistemáticos, e aplicá-lo na elaboração de novos projetos.

A metodologia é voltada para a análise de ocorrência de problemas de perfuração e identificação de tempo não-produtivo, buscando identificar parâmetros críticos de projeto e melhores práticas a serem executadas para aquela área, melhorando, assim, o desempenho das operações.

Como a metodologia está muito associada ao estudo de anormalidades (levantamento de ocorrências anormais nas operações), foi realizado um levantamento dos principais conceitos relacionados a problemas geomecânicos de poço. No capítulo 3 é apresentado o estudo realizado com o objetivo de identificar as principais causas e parâmetros de projeto associados à ocorrência de eventos anormais.

Capítulo 3

Fundamentos Teóricos sobre Problemas de Perfuração

Como já foi citado, os desafios são crescentes no atual cenário no qual a indústria *upstream* de petróleo se insere. O desenvolvimento de campos em regiões de difícil exploração resulta em maiores custos para a indústria e requer um nível de planejamento ainda maior a fim de garantir uma boa eficiência nas operações.

Dentro deste planejamento, um importante aspecto é o processo de análise de dados voltado para a antecipação de problemas. Isto porque, no caso da indústria de perfuração, responsável por grande parte dos custos relacionados ao desenvolvimento de um campo, a ocorrência de problemas associados à estabilidade de poço chega a resultar em custos extras da ordem de 10 a 15 % do valor total previsto (Santarelli *et al*, 1996).

Os problemas de perfuração podem ter soluções caras e de difícil execução, quando as têm. Em casos mais severos, pode resultar até mesmo em abandono do poço. Nesse sentido, o grau de planejamento e a antecipação de problemas durante as diferentes fases de perfuração de um poço são fundamentais a fim de garantir o sucesso das operações.

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados a Problemas de Perfuração. O objetivo é estudar os fatores associados a problemas geomecânicos e, com isso, identificar parâmetros de projeto que podem ser melhorados a fim de obter operações mais eficientes.

3.1 Caracterização de Problemas Típicos de Perfuração

A seguir é apresentada uma descrição dos principais problemas geomecânicos que podem ocorrer durante a perfuração de um poço, verificando suas causas e conseqüências. O estudo se baseia, principalmente, nos trabalhos de Idagawa (1990) e Aldred *et al* (1999).

a) Alargamentos

O alargamento do poço, também conhecido como *wash out*, ocorre normalmente em formações inconsolidadas e pode ser ocasionado por dois fatores principais: pressão hidráulica excessiva, pela ação do fluido de perfuração, e ação mecânica da coluna por conta de vibrações (Figura 3.1).

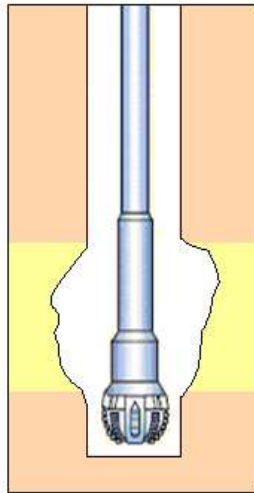


Figura 3.1. Poço com problema de alargamento.

Outras causas também podem ser associadas a este tipo de problema, como hidratação de folhelhos (pela reatividade do fluido com a formação) e desmoronamentos.

Entre os principais efeitos que alargamentos podem acarretar nas operações estão prejuízos à qualidade da cimentação, topadas e/ou prisão da coluna e dificuldade de operar manobras de pescaria.

b) Batentes

Batentes são variações frequentes e bruscas no diâmetro do poço devido a formações de diferentes características (Figura 3.2). A perfuração em formações duras (como calcários) ou em regiões onde existem freqüentes intercalações de formações moles e duras e de pequena espessura é o principal fator responsável por este tipo de problema.

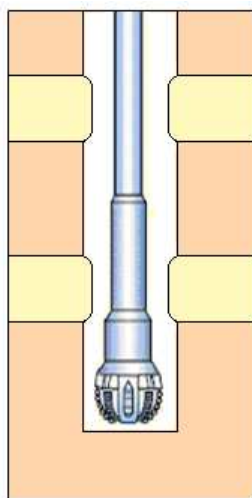


Figura 3.2. Poço com a presença de batentes.

Este tipo de ocorrência pode causar danos aos equipamentos de perfuração através de possíveis choques na passagem por esses estrangulamentos, além de dificultar a descida de revestimentos. Como prevenção a este problema, podem ser utilizados revestimentos com conexão sem luva.

c) Chavetas

As chavetas são cavidades com diâmetro igual ao da tubulação que compõe a coluna de perfuração e que se formam na parede do poço pelo atrito da coluna em trechos com desvio acentuado, como pode ser visto na Figura 3.3.

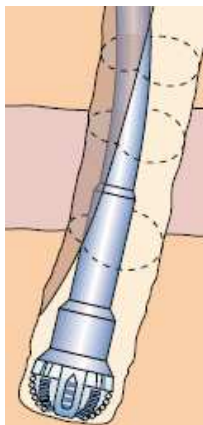


Figura 3.3. Poço com problema de chavetas (Oilfield Review, Summer 1999).

Este tipo de problema pode dificultar a passagem dos comandos de maior diâmetro e estabilizadores durante a manobra da coluna, além de poder acarretar em acunhamento e/ou prisão da coluna.

d) Desmoronamento de Poço

O desmoronamento de poço ocorre com o desprendimento de partes ou blocos de rocha que constituem a parede do poço (Figura 3.4). Esse tipo de ocorrência é mais comum em poços com resistência coesiva muito baixa e formações muito fraturadas.

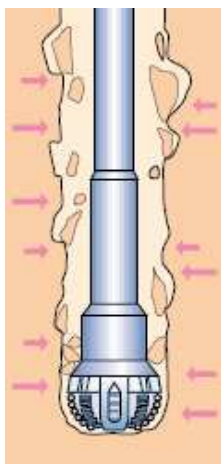


Figura 3.4. Poço com problema de desmoronamento (Oilfield Review, Summer 1999).

As principais causas para o desmoronamento de um poço são: pressão hidrostática insuficiente no interior do poço; ação mecânica da coluna sobre a parede do poço; vazão de bombeio excessiva, que, em regime turbulento, pode provocar lavagem das paredes do poço e possível desmoronamento; e dissolução de camadas ou domos salinos formando cavernas.

Entre os possíveis efeitos deste tipo de problemas estão: formação de cavernas na parede do poço, prisão de coluna e *packer* hidráulico. Uma maneira de detectar este tipo de ocorrência é através da análise das características laminares dos cascalhos (Cardoso Júnior, 1992).

e) Fechamento de Poço

O fechamento de poço ocorre com a obstrução parcial ou total do diâmetro do poço (Figura 3.5). É comum ocorrer problemas de fechamento por conta de inchamento de folhelhos por hidratação (resultado da reação entre a formação e o fluido de perfuração utilizado).

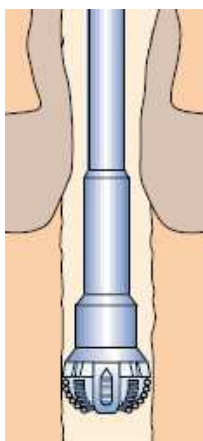


Figura 3.5. Poço com problema de fechamento de poço (Oilfield Review, Summer 1999).

Outra causa que também pode ser apontada para este tipo de problema é a perfuração de formações móveis com peso de fluido insuficiente, principalmente domos salinos, além de alguns folhelhos móveis. Nesses casos, é importante trabalhar com peso de fluido adequado para conter a mobilidade dessas formações e evitar maiores problemas. Outra solução é isolar esses trechos com revestimento.

É importante estar sempre atento para condicionar o poço quando for detectado algum tipo de fechamento, evitando assim problema durante manobras (*drags* excessivos), dificuldade na descida do revestimento e até mesmo prisão de coluna. Nos casos de formações reativas, deve-se estar atento à escolha do tipo de fluido a ser utilizado.

f) Kicks

Um *kick* é a produção indesejada dos fluidos da formação (Figura 3.6), podendo evoluir para um *blowout* (influxo descontrolado desses fluidos para a superfície). A principal causa deste tipo de problema é uma pressão hidrostática insuficiente no fundo do poço, que pode ser fruto de um dimensionamento mal feito do peso do fluido utilizado, de um efeito de pistoneio ou de uma perda de circulação (reduzindo a hidrostática atuante no poço).

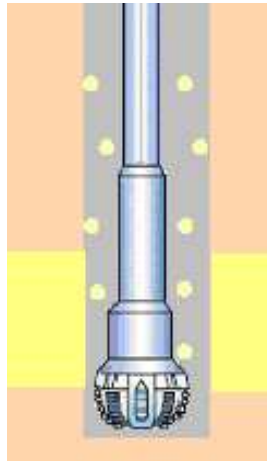


Figura 3.6. Poço com problema de *kick*.

Além de poder resultar em um *blowout* (quando não controlado), um *kick* também pode causar fratura da formação, caso as pressões resultantes no poço sejam muito elevadas. Outros efeitos de menor escala também podem ser observados, como desmoronamentos, alargamentos, fechamento do poço e, obviamente, contaminação do fluido de perfuração.

g) Perda de Circulação

A perda de circulação se caracteriza pelo influxo do fluido de perfuração de dentro do poço para formação (Figura 3.7). Esta perda pode acontecer através de fraturas existentes ou provocadas, ou em formações com alta permeabilidade e porosidade. Este tipo de problema pode ocorrer também em zonas produtoras depletadas quando se trabalha com pesos de lama excessivos.

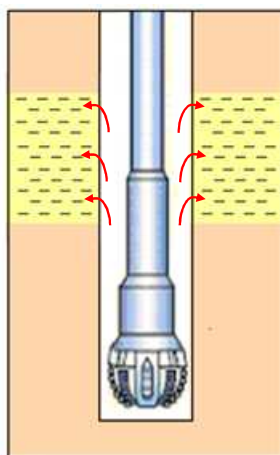


Figura 3.7. Poço com problema de perda de circulação.

A perda de circulação em um poço pode acarretar uma série de outros problemas como desmoronamentos e *kicks* (por conta da perda de pressão hidrostática atuante no poço) e, conseqüentemente, em tempo perdido e prejuízo financeiro.

Nos casos mais severos, a melhor solução para combater a perda é isolar o trecho com revestimento ou fazer tampão de cimento. Para perdas parciais, podem ser utilizados tampões de combate à perda e, claro, estar sempre atendo às propriedades e ao peso do fluido utilizado.

h) Prisão por Pressão Diferencial

Este tipo de problema representa mais de 75% das anormalidades que podem ocorrer durante a perfuração de um poço (Charlez e Onaisi, 1998). Este tipo de prisão de coluna ocorre

quando existe uma pressão diferencial excessiva entre o peso da lama e a pressão de uma formação permeável (Figura 3.8).

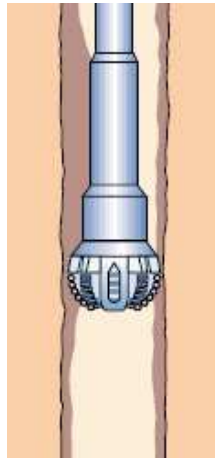


Figura 3.8. Poço com problema de prisão de coluna por pressão diferencial (Oilfield Review, Summer 1999).

As chances de ocorrer uma prisão por diferencial aumentam quando se trabalha com coluna parada ou durante alguma interrupção do movimento da mesma (problema de equipamento, etc). Para poços direcionais o risco é ainda mais crítico por conta do maior contato da coluna com as paredes do poço.

Entre as principais causas deste tipo de ocorrência estão um dimensionamento mal feito do peso do fluido de perfuração (acarretando uma pressão hidrostática excessiva) e também uma escolha inadequada desse fluido (uma grande quantidade de filtrado pode resultar na formação de rebocos mais espessos na parede do poço).

Existem diversos procedimentos que podem ser utilizados na tentativa de liberar a coluna, redução do peso da lama e tubo em “U”, no entanto, em alguns casos mais severos, esse tipo de problema pode acarretar no abandono do poço.

Como é possível perceber, a maioria dos problemas de perfuração está associada a causas de natureza geomecânica. Com base na caracterização feita, foram identificados os principais

fatores relacionados com a ocorrência dos problemas descritos, apresentados na seção seguinte, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Fatores associados à ocorrência de problemas geomecânicos.

PROBLEMAS	CAUSAS	EFEITOS OBSERVADOS
Alargamento	<ul style="list-style-type: none"> - Pressão hidráulica excessiva (vazão de bombeio) - Ação mecânica da coluna (BHA) - Reatividade da formação x fluido (tipo de fluido) - Desmoronamentos (regime de tensões) 	<ul style="list-style-type: none"> - Topadas durante manobras - Maior volume de retorno de cascalho
Batentes	<ul style="list-style-type: none"> - Intercalações entre formações moles e duras de pequena espessura (litologia) 	<ul style="list-style-type: none"> - Choques na passagem da coluna pelo trecho - Dificuldade de descida de revestimentos
Chavetas	<ul style="list-style-type: none"> - Atrito da coluna com a parede do poço em trechos com desvio acentuado (inclinação) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade na manobra do BHA
Desmoronamento	<ul style="list-style-type: none"> - Pressão hidrostática insuficiente (peso de fluido/regime de tensões) - Ação mecânica da coluna (BHA) - Pressão hidráulica excessiva (vazão de bombeio) - Dissolução de domos salinos (litologia) 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior volume de retorno de cascalho - Drags elevados na manobra - Cascalhos com tamanho maior que o normal
Fechamento	<ul style="list-style-type: none"> - Reatividade da formação x fluido (tipo de fluido) - Formações com mobilidade (ex: sais) (litologia) - Pressão hidrostática insuficiente (peso de fluido) 	<ul style="list-style-type: none"> - Drags elevados na manobra - Dificuldade na descida do revestimento - Ameaças de prisão
<i>Kick</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pressão hidrostática insuficiente (peso de fluido/pressão da formação) - Pistoneio (operação) - Perda de circulação (característica da formação/peso de fluido) 	Índícios primários: <ul style="list-style-type: none"> - Aumento do volume de lama nos tanques - Aumento da vazão de retorno - Fluxo com bombas desligadas
Perda de circulação	<ul style="list-style-type: none"> - Existência de fraturas na formação (característica da formação) - Formações com alta permeabilidade e porosidade (característica da formação) - Peso de fluido excessivo em zonas depletadas ou com baixo gradiente de fratura (peso de fluido) 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do volume de lama nos tanques
Prisão por diferencial	<ul style="list-style-type: none"> - Grande diferencial de pressão lama x formação (permeável). É preciso ainda que a coluna esteja em contato com a parede do poço (peso de fluido/pressão da formação) - Tipo de fluido inadequado (com grande quantidade de filtrado) (tipo de fluido) 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do drag e torque - Perda do movimento da coluna

3.2 Parâmetros Associados a Problemas de Perfuração

De acordo com o levantamento feito, os principais fatores relacionados com a estabilidade de um poço são: regime de tensões, pressões da formação e características da formação/litologia. A seguir são apresentadas algumas considerações sobre cada desses elementos.

3.2.1 Regime de Tensões *In-Situ*

O estado de tensões *in-situ* de uma formação reflete uma série de fatores como densidade da formação, histórico de movimentação tectônica, além das tensões residuais da área. Mesmo com a disponibilidade de modelos mais completos para estudar a atuação das tensões *in-situ* nas formações, a estimativa de sua magnitude e orientação ainda é fonte de complexidade e incertezas.

Nesse sentido, diversos trabalhos têm proposto a análise de parâmetros mais simples na tentativa de melhor compreender a influência dessas tensões na ocorrência de instabilidade no poço. Diversos trabalhos científicos apontam parâmetros como azimuth e inclinação entre os mais relevantes para analisar essas condições de estabilidade geomecânica de um poço. Entre os artigos consultados estão Chen *et al* (1996), Santarelli *et al* (1996) e Gil & Roegiers (2002).

O trabalho de Santarelli *et al* (1996) foi um dos pioneiros no estudo da relação entre eventos anormais relacionados à estabilidade do poço e o azimuth definido em projeto. Os resultados obtidos no trabalho indicaram a existência de azimuths críticos, nos quais a incidência de problemas era maior. Os autores afirmam que esse comportamento pode estar relacionado com a estrutura do campo e concluem que a maior incidência de anormalidades provavelmente ocorre nos poços perfurados na direção onde a resultante da diferença entre as tensões atuantes é maior.

Assim como o azimuth, muitos autores também sugerem que o ângulo de inclinação do poço tem influência sobre a estabilidade do mesmo devido a sua relação com a orientação das tensões *in-situ* de um campo. No estudo realizado por Gil & Roegiers (2002), os resultados

obtidos demonstraram uma tendência de crescente instabilidade à medida que a inclinação do poço aumentava. Resultado similar foi obtido por Hassan *et al* (1999), que estudaram a margem de estabilidade obtida na perfuração de poços com diferentes ângulos de inclinação.

3.2.2 Pressão da Formação

A pressão da formação é, provavelmente, um dos elementos mais importantes a serem considerados no projeto de um poço. Isto porque diversos aspectos do projeto dependem deste parâmetro, como, por exemplo, definição do peso do fluido e determinação da profundidade de assentamento da sapata.

O estudo das geopressões e dados de poços de correlação permitem verificar a existência de pressões anormais (pressão de poros com valores acima da esperada, onde valores normais corresponderiam ao gradiente de uma coluna hidrostática de água salgada). A atuação de pressões anormais pode acarretar em colapso de poço, ocorrência de *kick* e outros problemas como desmoronamentos. Daí a importância de aplicar métodos confiáveis para estimativa dessas pressões.

Um importante fator relacionado com a pressão de poros é a determinação do peso do fluido de perfuração. A densidade da lama deve ser dimensionada de tal maneira que esteja acima da pressão de poros (a fim de evitar o influxo indesejado de fluidos do reservatório para dentro do poço) e abaixo do gradiente de fratura (para evitar fraturar a formação). A Figura 3.9 ilustra a janela que deve ser utilizada no dimensionamento do peso do fluido na perfuração de um poço.

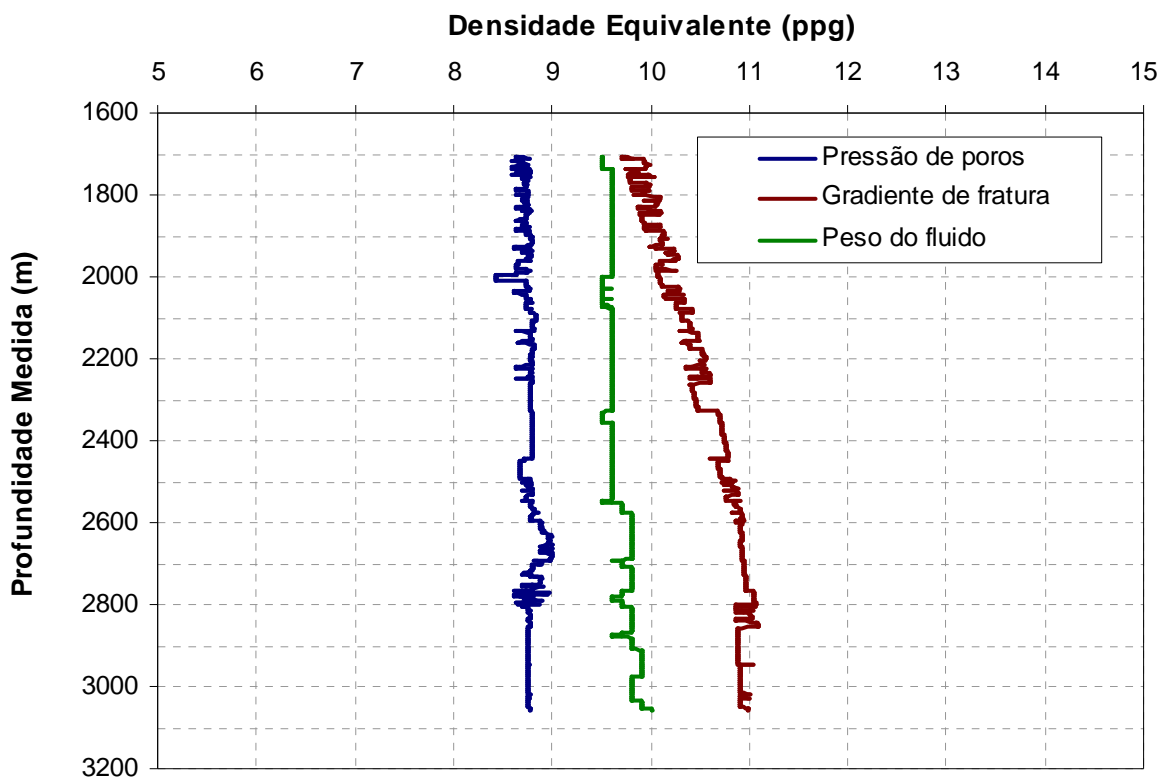


Figura 3.9. Janela para operacional de um poço.

Segundo Hassan *et al* (1999), a maior parte dos problemas relacionados à estabilidade de poço pode ser controlada a partir de uma escolha adequada da densidade do fluido. Santarelli *et al* (1996) também chegou à conclusão semelhante ao relacionar o peso do fluido com a ocorrência de instabilidade nos poços perfurados, elaborando um perfil de densidade mínima do fluido de perfuração. Este resultado apontou uma maior tendência de incidência de anormalidades à medida que a densidade de lama utilizada se aproxima deste perfil.

3.2.3 Litologia

Outro aspecto importante do fluido de perfuração é a escolha do melhor tipo a ser utilizado durante a perfuração. Devido à reatividade característica de algumas formações, como é o caso de folhelhos reativos, a composição do fluido de perfuração utilizado deve ser feita de maneira a minimizar as reações químicas entre o mesmo e a formação.

Para tanto, é fundamental o conhecimento da litologia da formação a fim de assegurar características compatíveis entre fluido e formação perfurada, garantindo condições de estabilidade do poço.

Nesse sentido, com base na descrição realizada dos problemas de perfuração e nas considerações de trabalhos científicos publicados, este trabalho utilizará como base para análise de condições de estabilidade de um poço os seguintes parâmetros:

- Inclinação e Azimute (relacionados com o estado das tensões *in situ*);
- Densidade (peso) do fluido (relacionado com as pressões da formação);
- Tipo de fluido de perfuração (relacionado com a litologia do campo).

Esses parâmetros serão utilizados na análise de problemas de geomecânicos e tempo não-produtivo descrita na metodologia apresentada no capítulo 4.

Capítulo 4

Metodologia Proposta para Análise de Dados de Perfuração

Nos capítulos anteriores, foi discutida a importância da análise de dados de perfuração como recurso na elaboração de novos projetos e, conseqüentemente, na obtenção de operações mais eficientes. Apesar disso, muitos autores afirmam ainda não existir metodologias que tratem da análise de dados de perfuração como um processo sistemático para aquisição e transferência do conhecimento obtido a partir de operações de campo.

Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias na atividade de perfuração tem proporcionado um melhor controle das operações e disponibilizado um volume de dados cada vez maior. Assim, o que se observa na prática em muitas empresas do setor ainda é a geração de um enorme montante de dados diariamente que não são utilizados de maneira efetiva para melhoria dos processos.

Nesse sentido, o presente trabalho vem a contribuir propondo uma metodologia para análise de dados de perfuração, com o objetivo de verificar as melhores práticas e lições aprendidas em operações de campo como forma de melhorar o desempenho das atividades. Neste capítulo é apresentada a descrição desta metodologia que tem a finalidade de transformar dados gerados durante as operações de campo em informações de grande valor para projetos futuros.

O objetivo é disponibilizar meios para que especialistas da área tenham fácil acesso às informações, tornando o processo de aprendizado e aquisição do conhecimento do campo mais

dinâmico e, assim, possibilitando que o mesmo seja utilizado de maneira sistemática em novos projetos, cujo processo ainda é muito baseado na experiência de profissionais especialistas.

A Figura 4.1 ilustra o ciclo de atividades que compõem a metodologia proposta, que está dividida em três etapas principais: aquisição e organização dos dados; análise dos dados; e gerenciamento da informação e aplicação em novos projetos. A metodologia se baseia em um ciclo de transferência de informações, onde o conhecimento que pode ser adquirido a partir da análise de dados obtidos no campo é utilizado na elaboração de novos projetos. Estes por sua vez, são capazes de promover operações mais eficientes pela melhoria de sua qualidade.

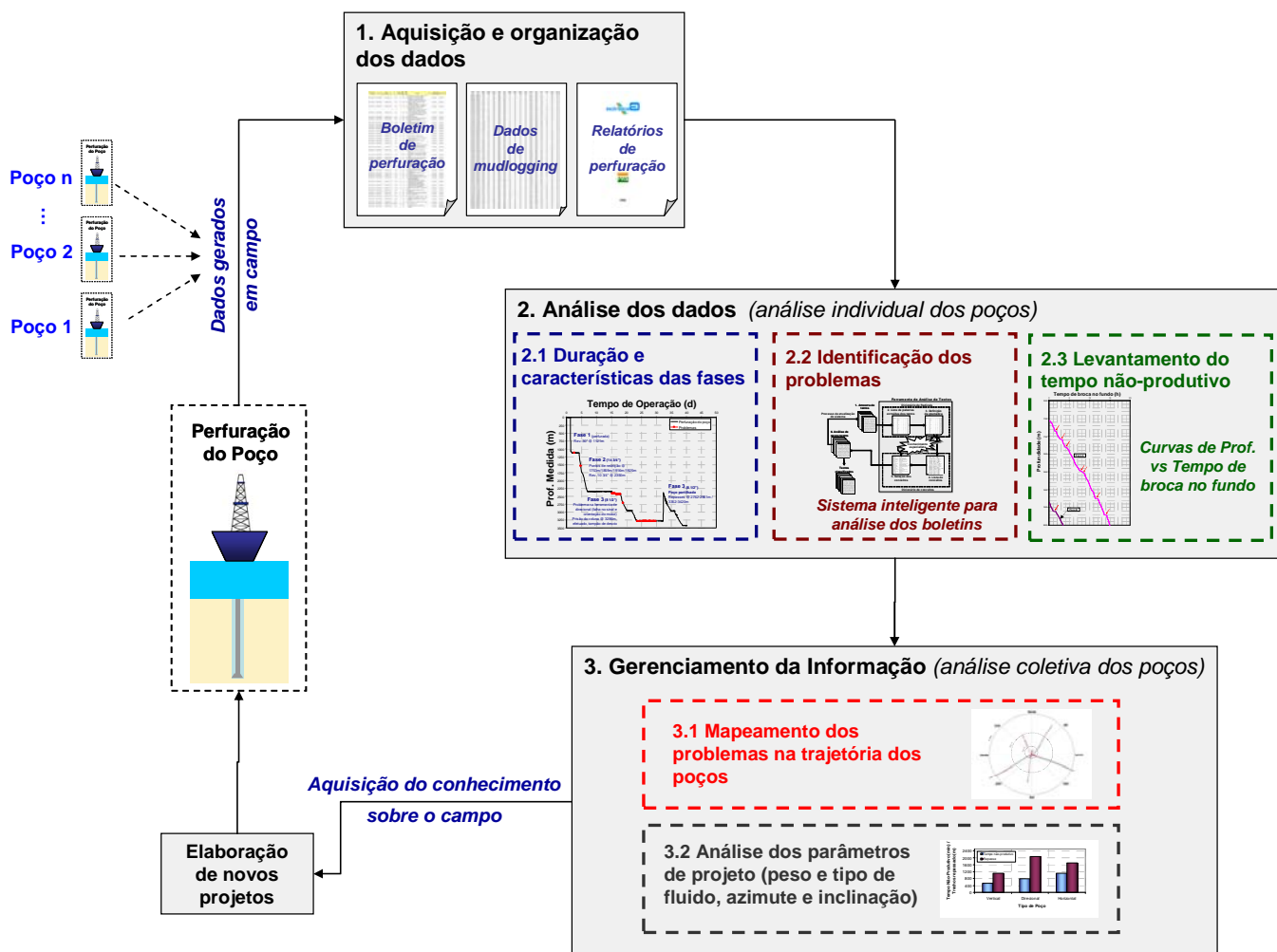


Figura 4.1. Esquema da metodologia proposta.

O detalhamento dessas etapas é apresentado nas seções seguintes.

4.1 Aquisição e Organização dos Dados

A primeira etapa desse processo é a escolha dos poços de correlação. São denominados poços de correlação aqueles já perfurados no campo cujas características têm semelhanças com a configuração do poço que está sendo projetado, podendo seus dados serem utilizados como base no seu planejamento.

Dessa forma, espera-se que a experiência obtida com a perfuração dos poços de correlação possa ser aproveitada através do aprendizado com os problemas encontrados e erros cometidos, permitindo que os projetistas adotem medidas preventivas quanto a possíveis anormalidades esperadas na perfuração do próximo poço.

É importante salientar que a escolha dos poços de correlação não é feita de maneira aleatória. A semelhança entre algumas características específicas desses poços é o elemento responsável pela escolha dos mesmos.

Entre os principais fatores considerados nesta seleção estão aqueles que caracterizam a geologia da formação e o projeto do poço. O trabalho de Mendes *et al* (2003) apresenta os seguintes atributos como os mais importantes nessa escolha: campo, lâmina d'água, profundidade vertical, ângulo médio de desvio, afastamento e azimuth. Os três primeiros refletem aspectos geológicos da região, enquanto os últimos estão relacionados com a trajetória e o perfil do poço.

Esta etapa do trabalho pode, às vezes, ser um complicador quando não existe um número razoável de poços a serem estudados. No caso de poços exploratórios em áreas remotas, por exemplo, é muito provável que não existam poços de correlação com características semelhantes ao que se está projetando (ou, caso existam, muitas vezes seus dados não estão disponíveis). Nesses casos, é preciso trabalhar com grandes incertezas, tendo sempre em mente as limitações das informações que estão sendo extrapoladas.

Já para campos desenvolvidos, onde a quantidade de dados disponíveis pode ser bastante significativa, a preocupação passa a ser com a qualidade dos mesmos. Nesse sentido, um dos principais aspectos do processo de análise de dados é justamente a escolha das informações que serão utilizadas.

Os dados utilizados na aplicação desta metodologia são provenientes de três fontes principais: boletins diários de perfuração (BDP), dados de *mudlogging* (e/ou PWD – pressão enquanto perfura) e outros relatórios e dados que são gerados para cada poço (como dados de MWD – medição enquanto perfura e LWD – perfilagem enquanto perfura, entre outros). A Figura 4.2 apresenta os dados necessários à aplicação da metodologia proposta com as respectivas fontes das quais foram extraídos.

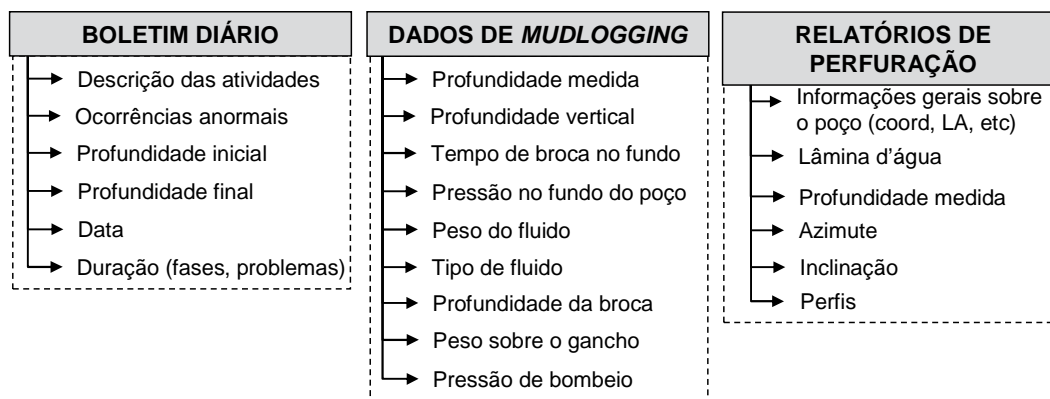


Figura 4.2. Dados utilizados na metodologia.

O boletim de perfuração é um dos documentos gerados diariamente durante a operação e nada mais é do que um relatório diário contendo informações sobre todas as atividades executadas em um dia de operação. A Figura 4.3 ilustra uma configuração usual de um boletim diário de perfuração. Como é possível verificar, o documento contém a seqüência de atividades executadas em ordem cronológica para perfuração do poço, com a duração de cada uma delas. O sistema permite ainda uma classificação dessas atividades, identificando o tipo de operação que está sendo executada e em que fase as mesmas se encontram.

Data	Início	Fim	Duração (h)	Prof. Inicial (m)	Prof. Final (m)	Descrição	Fase
07/05/XX	07:00	08:00	1	0	0	Aguardando deslocamento de barco de lançamento de linhas que se encontrava sobre a locação.	0
07/05/XX	08:00	11:00	3	0	0	Posicionando navio na locação.	0
07/05/XX	11:00	12:00	1	0	0	Lançando ROV p/ localizar poço.	0
07/05/XX	12:00	13:00	1	0	0	Localizando e inspecionando cabeça de poço. Obs. 1.	0
07/05/XX	13:00	13:30	0,5	0	0	Preparando p/ lancar Beacons c/ drill pipe.	0
07/05/XX	13:30	14:00	0,5	0	0	Reparando motor do guincho de perfuração.	0
07/05/XX	14:00	18:00	4	0	0	Lancando beancons c/ drill pipe. Obs.2.	0

Figura 4.3. Boletim diário de perfuração.

Nesse documento estão inclusos dados sobre o andamento do processo e sobre a ocorrência de problemas. Por esta razão, estes documentos podem fornecer informações de grande valor para a elaboração de novos projetos e planejamentos. Entre as principais informações disponíveis no BDP, estão:

- Descrição e classificação de todas as atividades executadas durante a perfuração do poço, incluindo as respectivas profundidades, data e duração;
- Dados referentes à configuração do poço, como diâmetro das fases perfuradas, profundidades inicial e final das fases e profundidade de assentamento das sapatas dos revestimentos;
- Ocorrências anormais, com a descrição dos problemas encontrados e ações tomadas para solucioná-los.

Outra fonte de dados de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho é proveniente dos serviços de *mudlogging* (e/ou PWD). Este é um processo de coleta e armazenamento de dados que monitora diversos parâmetros da perfuração através da análise dos sólidos, fluidos e gases trazidos para a superfície pelo fluido de perfuração.

Entre os mais importantes parâmetros monitorados e que são utilizados no desenvolvimento deste trabalho estão: profundidade perfurada (medida e vertical); profundidade da broca; tempo

de broca no fundo; metragem perfurada da broca; pressão equivalente no fundo do poço; pressão da formação; e peso do fluido de perfuração.

Outros relatórios de perfuração também fornecem informações significativas para o planejamento de novas operações. Documentos que contêm dados sobre brocas, fluidos de perfuração e outros parâmetros utilizados na perfuração permitem avaliar seu desempenho e, com isso, escolher os melhores a serem aplicados nos novos projetos.

Nesta etapa é importante a criação de uma espécie de portfólio do poço, facilitando a visualização de todas as informações do poço e sua manipulação. Organizando os dados desta forma, a pesquisa do histórico dos poços fica mais simples, tornando o processo mais dinâmico e reduzido o tempo necessário para fazê-lo.

4.2 Análise dos Dados

Como a metodologia se baseia, principalmente, no estudo de problemas de perfuração, optou-se pela investigação de anormalidades de duas formas distintas. A primeira delas trata da identificação direta de eventos anormais descritos nos boletins, enquanto a segunda aborda um estudo da influência de parâmetros de projeto no desempenho das operações de campo, verificando o tempo não-produtivo (com dados de *mudlogging*). Os dados foram analisados levando em consideração cinco parâmetros: tipo de poço, azimute, inclinação, tipo de fluido (relacionado com a litologia da formação) e pressão no fundo do poço em condições dinâmicas (ECD).

4.2.1 Características e Duração das Fases de Perfuração

A primeira etapa da fase de análise dos dados é a caracterização das fases perfuradas de cada poço individualmente. Primeiramente são analisados os tempos de operação, sendo contabilizada a duração de cada fase e os tempos de perfuração e trabalhos complementares (perfilagem, revestimento, cimentação). Também podem ser monitorados os tempos de manobra,

descida de revestimento, montagem de BOP e outras operações a fim de estabelecer um *benchmarking* para cada atividade no campo, apesar de não ser este o foco do presente trabalho.

Construindo uma curva dos tempos levantados por fase pela profundidade do poço, também conhecida como gráfico arara no jargão do setor, é possível acompanhar o andamento da perfuração e, assim, verificar se alguma fase está demandando muito tempo. Caso os dados de projeto estejam disponíveis, é interessante comparar as curvas Projetada vs Realizada a fim de verificar onde ocorre defasagem entre as duas para investigar as possíveis causas do atraso. A Figura 4.4 ilustra um exemplo deste tipo de gráfico.

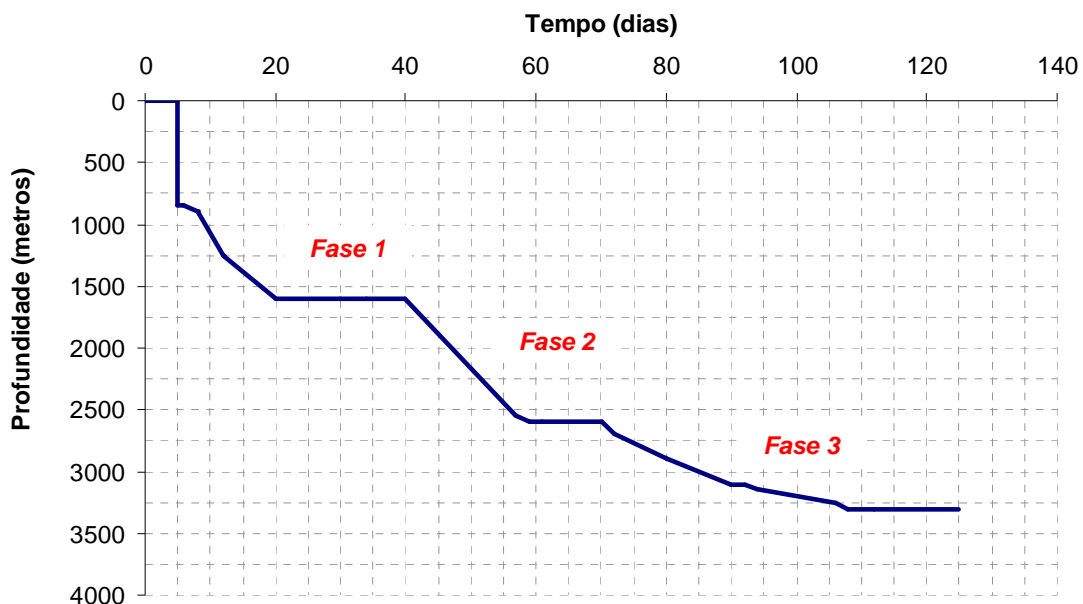


Figura 4.4. Exemplo de curva de Profundidade vs Tempo.

Uma vez identificados possíveis atrasos ou tempos perdidos na construção do gráfico arara e separados os dados dos boletins por fase, a análise se volta para a identificação de problemas e outras particularidades encontradas em cada etapa da construção do poço.

Um dos dados mais importantes dos boletins são as ocorrências anormais. Isto porque as descrições de problemas contidas neste documento permitem identificar a natureza dos eventos, investigar suas possíveis causas, consequências e ações tomadas para controle da situação,

possibilitando, ainda, correlacioná-los com as profundidades de ocorrência e, assim, verificar prováveis zonas de risco na formação.

Na fase inicial (condutor), por exemplo, identificar a ocorrência de batentes ou *shallow hazards* em poços de correlação pode determinar a mudança no processo de instalação do revestimento condutor em novos poços. Para cada fase do poço (condutor, superfície, intermediária e produção), existe uma série de perguntas a serem respondidas para consolidar o conhecimento do campo, não cabendo a este trabalho responder a todas elas. A idéia aqui é apontar como algumas dessas perguntas podem ser respondidas utilizando dados já disponíveis, mas que por vezes não são aproveitados na sua magnitude.

Na identificação das anormalidades ocorridas no poço por fase, é importante investigar se o boletim de perfuração contém descrição de indícios de que o problema iria ocorrer antes mesmo de ser registrado no relatório. Em muitos casos, como já foi discutido no capítulo 3, o poço manifesta sinais de instabilidade geomecânica que não são identificados, resultando em problemas mais graves. Associar esses indícios aos problemas que podem ser gerados é um grande aprendizado sobre a área em questão.

Todo tipo de problema deve ser averiguado, não ficando restrito a eventos mais sérios como prisões de coluna e *kicks*. Registros de repasse (realizados com frequência) e *drags* elevados durante manobras e descida de revestimento também devem ser tratados como anormalidades, já que podem evidenciar ocorrência de problemas geomecânicos.

Para cada evento identificado, são levantados os parâmetros de trabalho durante sua ocorrência, como tipo de poço, fluido, ECD, azimuth e inclinação. A escolha desses elementos para análise baseou-se no estudo dos problemas de perfuração apresentados no capítulo 3, onde os mesmos são apontados como alguns dos principais fatores associados (direta ou indiretamente) aos problemas encontrados.

Ao final desta etapa, deve ser gerada uma tabela contendo um resumo de todas as informações agregadas sobre os eventos identificados. Além disso, esses problemas podem ser mapeados na curva de Profundidade vs Tempo construída inicialmente, facilitando a visualização do tempo perdido e o motivo, bem como na trajetória do poço (gráfico Afastamento vs Azimute). Exemplos de resultados deste tipo serão ilustrados no capítulo 5 deste trabalho.

Como esta etapa de análise pode demandar tempo razoável durante a análise dos dados dos boletins, é também proposta aqui a utilização de um sistema inteligente para análise automatizada dos boletins, descrito na próxima seção deste capítulo.

4.2.2 Análise Automatizada dos Boletins de Perfuração

Com o objetivo de otimizar o processo de identificação de problemas a partir dos boletins de perfuração, é proposta aqui a utilização de uma metodologia baseada na classificação automatizada de textos. Através da aplicação de uma ferramenta computacional nomeada PhDic, desenvolvida por uma equipe de pesquisadores do Laboratório de Inteligência Artificial aplicada ao Petróleo (LIAP) da Unicamp, é possível identificar ocorrências anormais nos boletins de perfuração, otimizando, assim, o tempo gasto para análise dos mesmos.

O processo se baseia na elaboração de um dicionário de problemas construído com o auxílio de um especialista da área. Este dicionário contempla todas as anormalidades que podem ocorrer durante a perfuração de um poço. A metodologia consiste em seis etapas e se baseia no trabalho de Miura *et al* (2003), conforme ilustra a Figura 4.5.

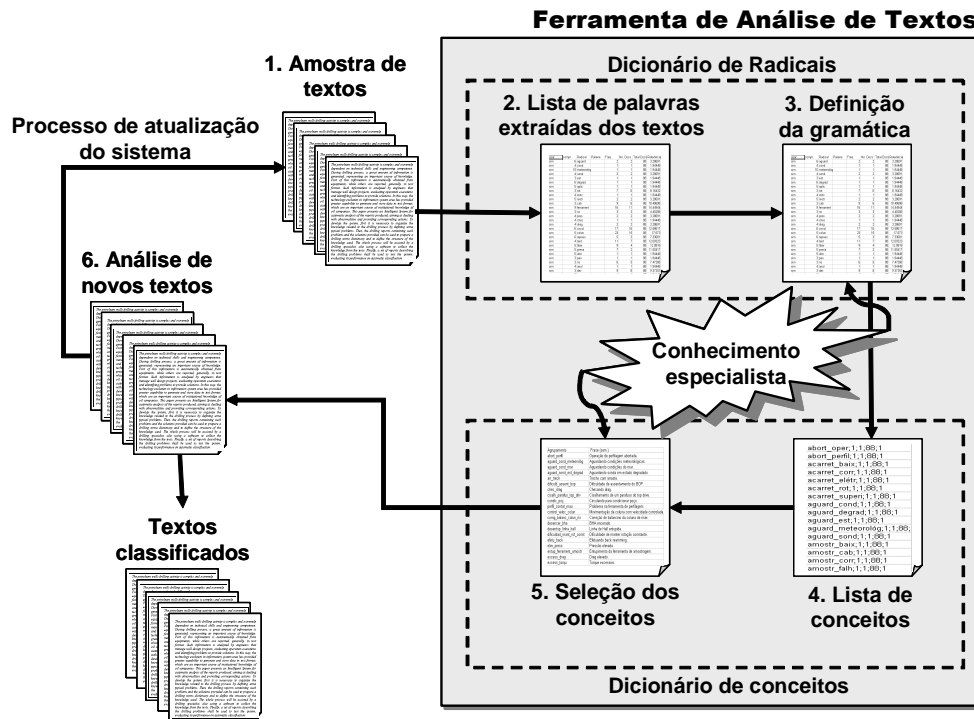


Figura 4.5. Metodologia para classificação e análise dos boletins (Miura *et al*, 2003).

Para elaboração do dicionário, é necessária uma amostra inicial de textos da área de especialidade (no caso, os próprios boletins de perfuração). Utilizando o PhDic, são extraídas os radicais de todas as palavras contidas nesta amostra de textos. Como essa lista gerada pode ser bastante extensa, e muitas dessas palavras não têm significado para o contexto considerado (como artigos, pronomes e conjunções), apenas parte dessa lista é selecionada para continuar o processo de elaboração do dicionário de anormalidades.

A partir desta lista gerada, o último passo para a conclusão do dicionário de radicais é a definição da sintaxe das palavras. Nesta etapa, cada radical selecionado tem sua função definida através desta gramática, podendo atuar como termo principal (identificados pela sigla “MNO”) ou complementar (identificados pela sigla “mno”). Um exemplo desta lista gerada pode ser visto na Figura 4.6.


PhDic - versão ALPHA											
Arquivo Visualizar Projeto Ajuda											
											
Saída											
Dicionário Conceitos											
usar /	compr.	Radical	Palavra	Freq	No. Docs	Total Docs	Relevância	Novo?	Sintaxe	sufixo	freq.
sim	6	aguard	aguardando	2	2	88	3.28691	0	MNO	ando	2
sim	4	cond	condições	1	1	88	1.94448	0	mno	ições	1
sim	10	meteorológ	meteorológicas	1	1	88	1.94448	0	mno	icas	1
sim	4	sond	sonda	2	2	88	3.28691	0	mno	a	2
sim	3	est	estado	1	1	88	1.94448	0	mno	ado	1
sim	6	degrad	degradado	1	1	88	1.94448	0	mno	ado	1
sim	5	aplic	aplicando	1	1	88	1.94448	0		ando	1
sim	3	rot	rotação	7	6	88	8.16432	0	MNO	ação	7

Figura 4.6. Dicionário de radicais elaborado utilizando o PhDic.

Posteriormente, uma lista de combinações entre os termos principais e complementares é gerada (estas associações são aqui denominadas de conceitos). A ferramenta computacional gera uma lista com todas as prováveis combinações e que também pode ser bastante extensa. Novamente, é feita uma seleção daqueles parâmetros que possuem significado para o estudo em questão, de maneira que todos os conceitos selecionados caracterizam algum tipo de anormalidade (como prisão de coluna, perda de circulação, entre outros), constituindo, assim, o dicionário de problemas de perfuração (Figura 4.7).


PhDic - versão ALPHA						
Arquivo Visualizar Projeto Ajuda						
						
Saída						
Dicionário Conceitos						
Agrupamento	Frequência	No. Docs	Total Docs	Relevância	Restrição	Frase (sem.)
abort_perfil	1	1	15	1		Operação de perfilagem abortada.
aguard_cond_meteorológ	5	2	15	4		Aguardando condições meteorológicas.
aguard_sond_est_degrad	1	1	15	1		Aguardando sonda em estado degradado.
chec_drag	1	1	15	1		Checando drag.
condic_poç	16	7	15	5		Circulando para condicionar poço.
perfil_contat_mau	0	0	0	0		Problema na ferramenta de perfilagem.
desencer_bha	2	1	15	2		BHA encerrado.

Figura 4.7. Exemplo de conceitos contidos no dicionário de problemas (tela do PhDic)

O passo seguinte à criação do dicionário é a classificação de novas amostras de textos. Este processo ocorre da seguinte forma: a ferramenta computacional utilizada identifica na nova amostra de textos aqueles que contêm as combinações de radicais contidos no dicionário elaborado e identifica os problemas que estão associados às mesmas. Por exemplo, em um texto que contenha os radicais “pris” e “colun”, o sistema identifica a ocorrência do problema ao qual este conjunto de radicais está associado, no caso, “prisão de coluna”. As demais classificações ocorrem de maneira semelhante. Para melhor compreender como funciona esta metodologia, a Figura 4.8 ilustra um exemplo de como ocorre esta classificação.

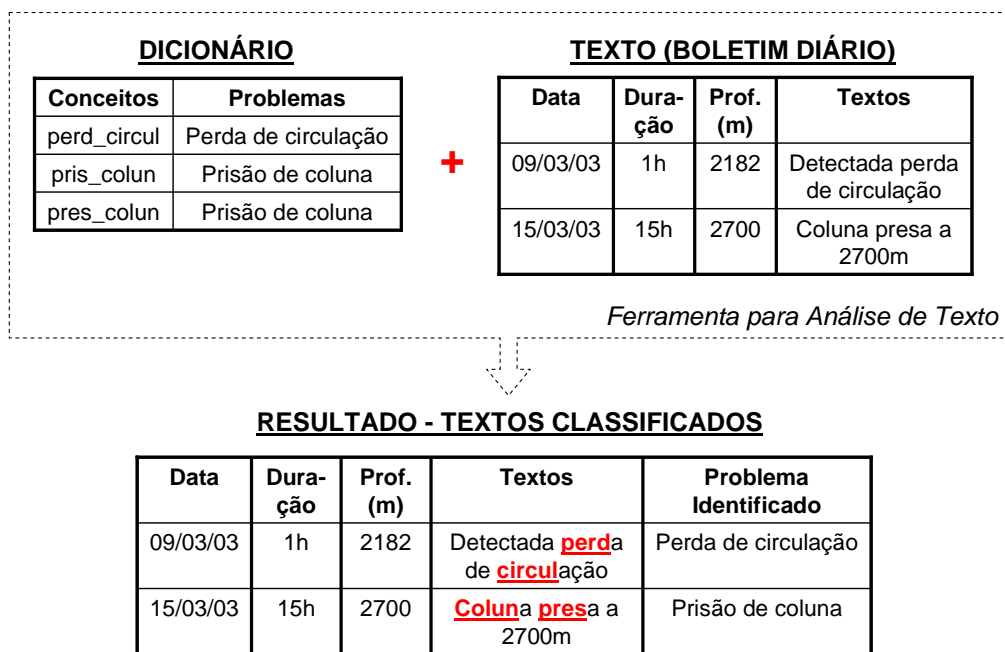


Figura 4.8. Exemplo de classificação de um texto utilizando o dicionário elaborado.

Na Figura 4.8, a tabela superior à esquerda representa o dicionário de problemas elaborado e a tabela superior à direita uma amostra de textos a ser classificada. A utilização do sistema permite identificar aqueles conceitos do dicionário que estão contidos na amostra de textos analisada (destacados em vermelho na tabela inferior). Com isso, o texto é classificado com o problema associado ao conceito reconhecido.

Como resultado final, é possível obter uma lista de todos os problemas contidos nos boletins relacionando-os com sua profundidade e tempo de duração, informações as quais, como já foi visto, podem ser de grande utilidade na elaboração de novos projetos.

Uma desvantagem sobre a aplicação deste método para levantar ocorrência de anormalidades durante a perfuração de um poço é a imprecisão dos boletins. O tamanho do intervalo nos quais os dados são anotados influencia na precisão dos dados e, com isso, pode ocorrer perda de informações e, conseqüentemente, comprometer a qualidade da análise dos relatórios. Este problema, no entanto, pode ser minimizado com a complementação da análise com dados de outras fontes, como *mudlogging*.

A partir do resultado anteriormente gerado, é possível obter um gráfico contendo a frequência de ocorrência de problemas. A contabilização das anormalidades encontradas no poço em cada fase possibilita a construção do gráfico de Pareto e, com isso, a identificação dos problemas mais comumente encontrados neste tipo de operação (Miura *et al*, 2003).

A etapa seguinte desta análise é a identificação do tempo não-produtivo a partir dos dados de *mudlogging*.

4.2.3 Levantamento do Tempo Não-Produtivo

A etapa seguinte da análise dos dados é o levantamento do tempo não-produtivo a partir dos dados de *mudlogging*. Tempo não-produtivo é aqui definido como o período em que a broca encontra-se no fundo do poço, porém a não há avanço na profundidade perfurada. Nesse caso, assume-se que não há avanço na metragem perfurada por conta da ocorrência de problema durante a perfuração.

Para levantamento do tempo não-produtivo, são construídas as curvas de Profundidade vs Tempo de broca no fundo para as diferentes fases do poço. A partir desses gráficos, é possível

identificar os patamares onde não há avanço na metragem, como no exemplo apresentado na Figura 4.9.

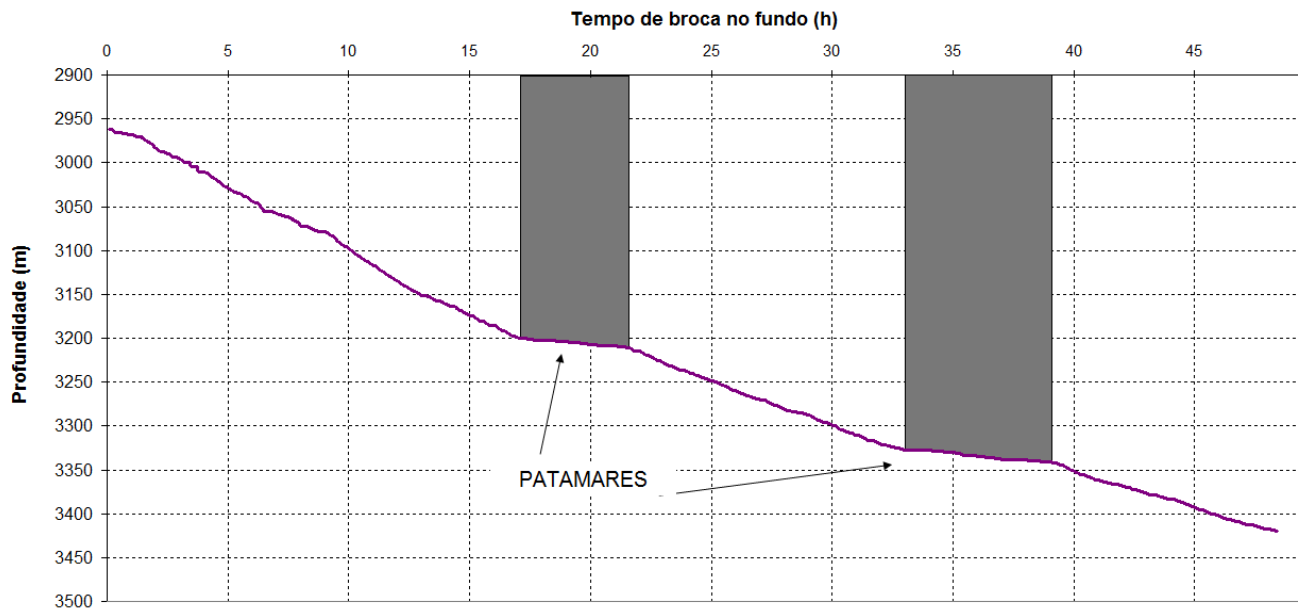


Figura 4.9. Exemplo de patamar que pode ser identificado nesse tipo de gráfico.

É importante salientar que a curva apresentada na Figura 4.4 difere da Figura 4.9, pois utilizam tempos com diferentes referenciais. Enquanto a primeira é o tempo recorrente do início ao fim do poço, incluindo todas as operações, o último refere-se apenas ao tempo que a broca está no fundo do poço e que, teoricamente, deveria estar avançando.

Dessa forma, os patamares encontrados em cada curva também têm diferentes significados. Enquanto os da Figura 4.4 referem-se ao tempo gasto com trabalhos complementares para concluir a fase do poço, antes de iniciar a perfuração da próxima fase, os patamares da Figura 4.9 podem estar associados a alguma ocorrência na operação que está impedindo o avanço da broca. É interessante nesses casos também associar à litologia da formação para verificar se os patamares não correspondem a mudanças na formação perfurada.

Obtidas as curvas dos poços para as diferentes fases perfuradas, são identificados todos os patamares, numerando-os a fim de organizar informações a eles associadas. A primeira

informação é retirada do próprio gráfico e corresponde à duração do patamar. Este valor representa o tempo perdido com a possível anormalidade, também tratado aqui neste trabalho como tempo não-produtivo da operação, pois, apesar da broca estar no fundo do poço, não está ocorrendo avanço na metragem perfurada. Foram considerados somente aqueles patamares com duração de, no mínimo, trinta minutos.

A cada patamar identificado foram associadas também informações referentes aos parâmetros de projeto considerados na metodologia, os mesmos já citados anteriormente (tipo de poço, fluido utilizado, ECD, inclinação e azimuth) nas profundidades de cada patamar observado.

É importante observar também que os dados disponíveis de tempo são referentes às brocas utilizadas, ou seja, no caso da descida de um novo BHA, o tempo de broca no fundo é zerado, dando continuidade à operação na profundidade em que foi interrompida anteriormente. Portanto, nos casos onde mais de uma broca foi utilizada para perfurar a mesma fase de um poço, são obtidas várias curvas, devendo todos os patamares serem contabilizados.

A construção dessas curvas pode fornecer ainda um indicativo de regiões mais problemáticas na perfuração de um poço em um dado campo e, com isso, permitir que medidas sejam tomadas, ainda na fase de projeto, para prevenir a ocorrência de problemas nessa área.

A seguir é apresentada a última etapa da metodologia descrita neste capítulo, contemplando a consolidação das informações obtidas até o momento e identificando pontos importantes a serem considerados na elaboração de novos projetos.

4.3 Gerenciamento da Informação e Aplicação em Novos Projetos

Nas duas primeiras etapas desta metodologia foram descritos os processos de aquisição, organização e análise dos dados. No entanto, as informações levantadas até este ponto possibilitam conhecer a fundo as características e os problemas encontrados em cada poço isoladamente. Apesar do ganho evidente com essa informação, a grande vantagem na

metodologia proposta é agregar os dados de diferentes operações e consolidar o conhecimento do campo como um todo.

Desta forma, os dados de cada poço analisado devem ser agrupados de maneira a entender melhor as características do campo por trecho. Inicialmente, com o objetivo de verificar as diferenças entre cada poço, são agrupadas as curvas Profundidade vs Tempo de cada um deles. Com isso, é possível observar que poços apresentaram os melhores e piores desempenhos. Cada experiência deve ser vista como um aprendizado, tanto os poços com melhores resultados, verificando as práticas de sucesso, quanto os poços com maior duração, analisando os problemas ocorridos e suas causas.

Nesta etapa, também é interessante a aplicação de curvas de aprendizado para avaliar o desempenho e aprendizado das equipes de perfuração, além de auxiliar na estimativa dos tempos em novos projetos.

O conceito de curva de aprendizado já vem sendo aplicado na análise de dados de perfuração há algum tempo. Os primeiros estudiosos a observarem que a teoria de curvas de aprendizado poderia ser aplicada a atividades de perfuração de poços de petróleo foram Brett & Millheim (1986). Eles perceberam que, à medida que mais poços eram perfurados em uma determinada região, menores eram os tempos e custos necessários para completar a atividade até atingir certo patamar. A Figura 4.10 ilustra o exemplo de uma sequência de poços perfurados onde o tempo de perfuração demonstra aprendizado da equipe da sonda.

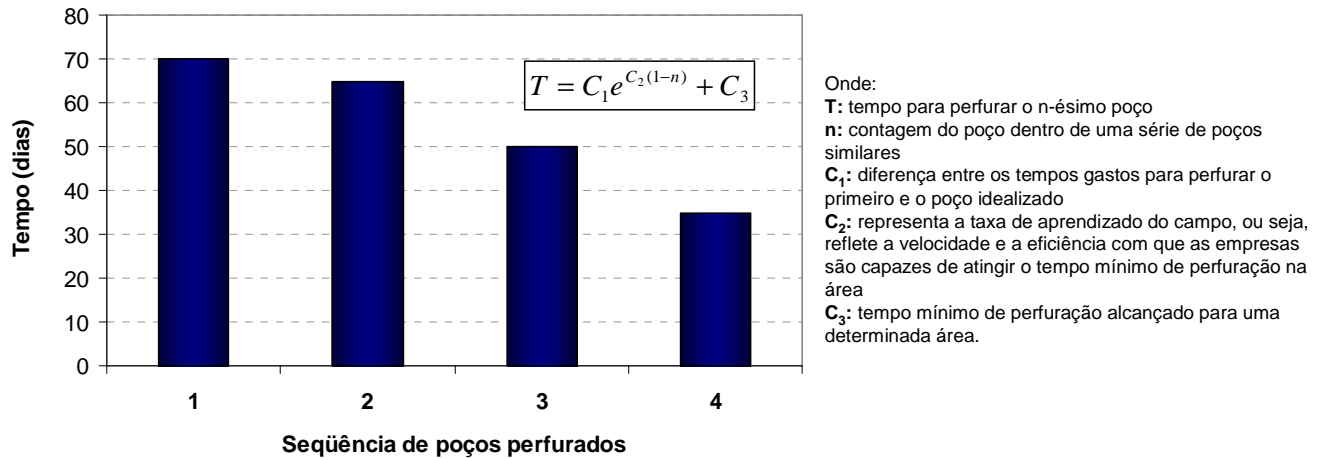


Figura 4.10. Curva de aprendizado.

O mesmo conceito pode ser aplicado para os tempos perdidos com anormalidades. A construção dessas curvas deve ser feita de maneira a agrupar poços perfurados por uma mesma sonda, caracterizando o aprendizado de cada equipe nas operações com relação aos problemas encontrados.

Este tipo de resultado é interessante para verificar se está ocorrendo diminuição do tempo perdido, ou seja, para avaliar se foi adquirido algum conhecimento em experiências anteriores e se o mesmo está sendo aplicado em novas operações.

As curvas de aprendizado quando aplicadas desta forma também permitem verificar que problemas estão sendo recorrentes ou, ainda, aqueles que estão sendo melhor controlados ao longo do tempo, dando uma idéia sobre as principais deficiências das operações.

O passo seguinte é fazer um levantamento de todas as anormalidades esperadas por fase. As informações levantadas para cada poço são agrupadas, consolidando o resultado e verificando quais são pertinentes e podem ser aproveitadas no próximo projeto.

A análise de anormalidades permite identificar possíveis zonas problemáticas, com maior risco potencial de resultar em atrasos e/ou prejuízos na operação. O conhecimento de tais regiões

e dos problemas detectados possibilita a adoção de medidas ainda na fase de projeto de maneira a controlar/evitar a ocorrência desses eventos.

Além disso, são mapeadas todas as anormalidades encontradas nas trajetórias dos poços de maneira conjunta a fim de tentar identificar um padrão de ocorrências, como por exemplo, direções (azimutes) críticas onde a incidência de problemas é maior. Este resultado pode ser visualizado construindo gráficos Azimute vs Afastamento dos poços apontando os eventos anormais ocorridos. Resultados deste tipo serão apresentados no capítulo 5.

Resultado similar pode ser obtido com um gráfico considerando os trechos que sofreram repasse, como o ilustrado na Figura 4.11. Gráficos como esse também podem ser obtidos com o tempo não-produtivo. Este tipo de resultado indica possíveis valores críticos, ou seja, poços perfurados no campo naquelas direções possuiriam forte tendência de apresentar problemas de instabilidade geomecânica.

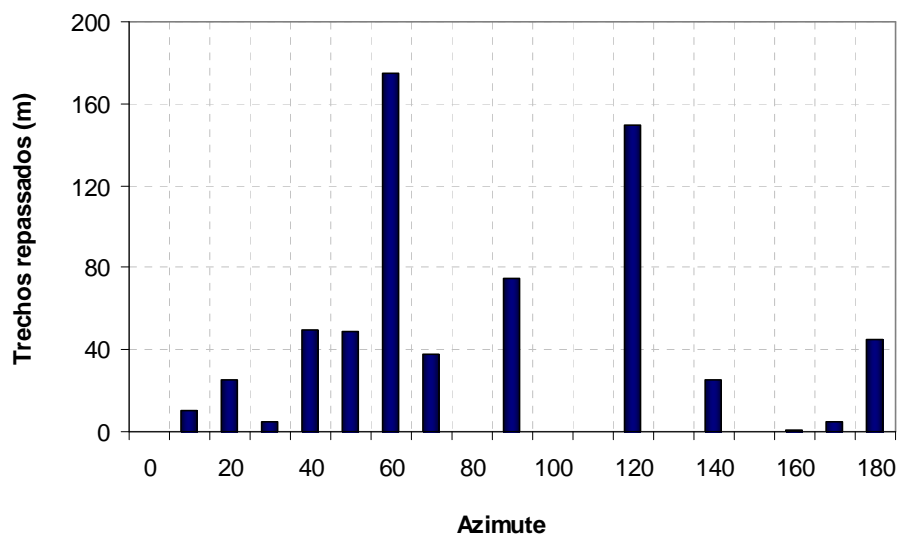


Figura 4.11. Somatório dos comprimentos de trechos repassados por azimuth.

Esse raciocínio pode ser aplicado não só para o azimuth, mas também para os demais parâmetros aqui analisados com o intuito de identificar valores ou condições críticas mais suscetíveis à ocorrência de problemas.

Dessa forma, calculando o tempo não-produtivo e os trechos repassados para diferentes valores de cada parâmetro analisado, espera-se obter informações que agreguem conhecimento sobre o campo, como melhor tipo de fluido a ser usado, direção preferencial de perfuração (onde o índice de problemas é menor), entre outras informações.

Para alguns parâmetros, cuja modificação em projeto é mais complicada, a metodologia continua sendo válida no sentido de alertar sobre os possíveis problemas que a opção pode acarretar. Desta forma, é possível, pelo menos, atuar de forma preventiva, estando mais atento aos sinais de possíveis problemas.

A seguir são apresentadas as considerações sobre a metodologia que o trabalho está propondo e algumas das informações que podem ser obtidas a partir da sua aplicação como forma de auxiliar na elaboração de novos projetos.

4.4 Considerações sobre a Metodologia Proposta

A metodologia proposta consiste basicamente em um estudo das anormalidades encontradas na perfuração dos poços com o objetivo de identificar os parâmetros críticos associados à sua ocorrência e, assim, possibilitar a otimização dos processos em operações futuras.

A metodologia foi dividida em três etapas principais (aquisição e organização dos dados, análise dos dados e gerenciamento da informação), onde cada uma delas tem uma finalidade. O objetivo da primeira etapa é proporcionar ao projetista uma visualização geral das características do poço, facilitando o acesso aos dados que serão utilizados posteriormente. Na segunda etapa são analisados todos os eventos considerados relevantes para o processo (problemas ocorridos, tempos não-produtivos), bem como os parâmetros associados, buscando compreender a natureza de sua ocorrência. E, finalmente, com a etapa de gerenciamento da informação, onde o desempenho dos parâmetros é analisado não mais individualmente para cada poço, mas sim para

o campo como um todo, espera-se conhecer algumas das peculiaridades de cada fase perfurada e, com isso, obter maior conhecimento sobre a área. A Tabela 4.1 contém exemplo de informações que se pretende obter com a aplicação desta metodologia e que podem ser aplicadas na elaboração de novos projetos.

Tabela 4.1. Informações a serem utilizadas em novos projetos.

FASE	INFORMAÇÕES	
CONDUTOR	- Operação mais adequada para instalação do condutor (perf, jatear)	- Existência de <i>geohazards</i>
SUPERFÍCIE	- Tipo de fluido recomendado - Problemas esperados - Comprimento ideal da fase	- Expectativa de taxa de penetração (litologia/broca)
INTERMEDIÁRIA	- Tipo de fluido recomendado - Azimute preferencial - Inclinação	- Presença de zonas de pressões anormais - Problemas esperados (perda, <i>drags</i>) - Comprimento ideal da fase
PRODUÇÃO	- Tipo de fluido recomendado - Azimute preferencial - Inclinação	- Presença de zonas de pressões anormais - Problemas esperados (perda, <i>drags</i>) - Comprimento ideal da fase

Para demonstrar a aplicabilidade da metodologia aqui descrita, foi realizado um estudo de caso utilizando dados reais de perfuração que será apresentado no capítulo 5.

Capítulo 5

Resultados e Análise

Com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade da metodologia apresentada no capítulo 4, foi realizado um estudo de caso utilizando dados de nove poços perfurados em um campo marítimo. A Tabela 5.1 contém a lista de poços estudados, identificados pela numeração de 1 a 9, de acordo com a ordem cronológica das operações executadas. Um esquema simples de cada um desses poços é apresentado no Anexo 2 deste trabalho.

Tabela 5.1. Poços analisados.

Poço	Tipo de Poço	Lâmina d'água (m)	Prof. Medida (m)
1	Vertical	1184	3110
2	Horizontal	1316	3723
3	Direcional	1625	3450
4	Horizontal	1037	3285
5	Direcional	937	3122
6	Vertical	1717	3252
7	Direcional	937	3509
8	Vertical	1808	3240
9	Direcional	879	3058

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada etapa da aplicação da metodologia.

5.1 Aquisição e Organização dos Dados

De acordo com a metodologia descrita no capítulo 4, as principais fontes de dados utilizadas no estudo de caso foram os boletins diários, dados de *mudlogging* e outros relatórios de

perfuração disponíveis. A definição da amostra de poços utilizada neste trabalho foi feita com base na disponibilidade de dados nessas três fontes, ou seja, foram excluídos da análise poços cujas informações estavam incompletas em, pelo menos, uma das fontes. Por esta razão, uma amostra inicial que continha quinze poços teve de ser reduzida para os nove considerados.

Os dados utilizados, em sua maioria, encontravam-se no formato de planilhas eletrônicas, facilitando, assim, seu manuseio inicial para estruturá-los e utilizá-los na análise. Os arquivos foram organizados em uma única pasta para agilizar o acesso às informações, agrupando os dados gerais de cada operação em um mesmo arquivo para facilitar a visualização do poço (identificação do poço, coordenadas, configuração das fases).

5.2 Análise dos Dados

De acordo com a metodologia proposta neste trabalho, a fase de análise dos dados consiste no estudo de cada poço individualmente, sendo sub-dividida em três etapas: caracterização e duração das fases perfuradas; identificação de problemas ocorridos através da aplicação de um sistema inteligente para análise automatizada dos boletins de perfuração; e levantamento do tempo não-produtivo a partir dos dados de *mudlogging*. A seguir é apresentado o resultado obtido com a aplicação de cada uma dessas fases no estudo de caso.

5.2.1 Características e Duração das Fases de Perfuração

Esta primeira etapa consistiu na construção das curvas de profundidade versus tempo para análise do desempenho da perfuração (duração das operações). Como não existiam dados disponíveis de projeto para fins de comparação, foram obtidas apenas as curvas com os dados de tempo realizado.

Para cada poço considerado no estudo, foram obtidas curvas semelhantes à apresentada na Figura 5.1. O objetivo foi identificar o andamento de cada fase perfurada, a duração das operações e alguma anormalidade que porventura tenha ocorrido durante a perfuração do poço.

Os gráficos obtidos para os demais poços serão apresentados na seção 5.3 quando na análise dos grupos de poços de correlação.

Todos os eventos que acarretaram em algum tempo perdido (problemas de perfuração e/ou reparo de equipamentos da sonda) foram destacados em vermelho no gráfico. Desta forma, é possível verificar em que fase os mesmos ocorreram e em quanto tempo atrasaram a continuidade das operações. Os principais eventos de cada fase também estão citados no gráfico.

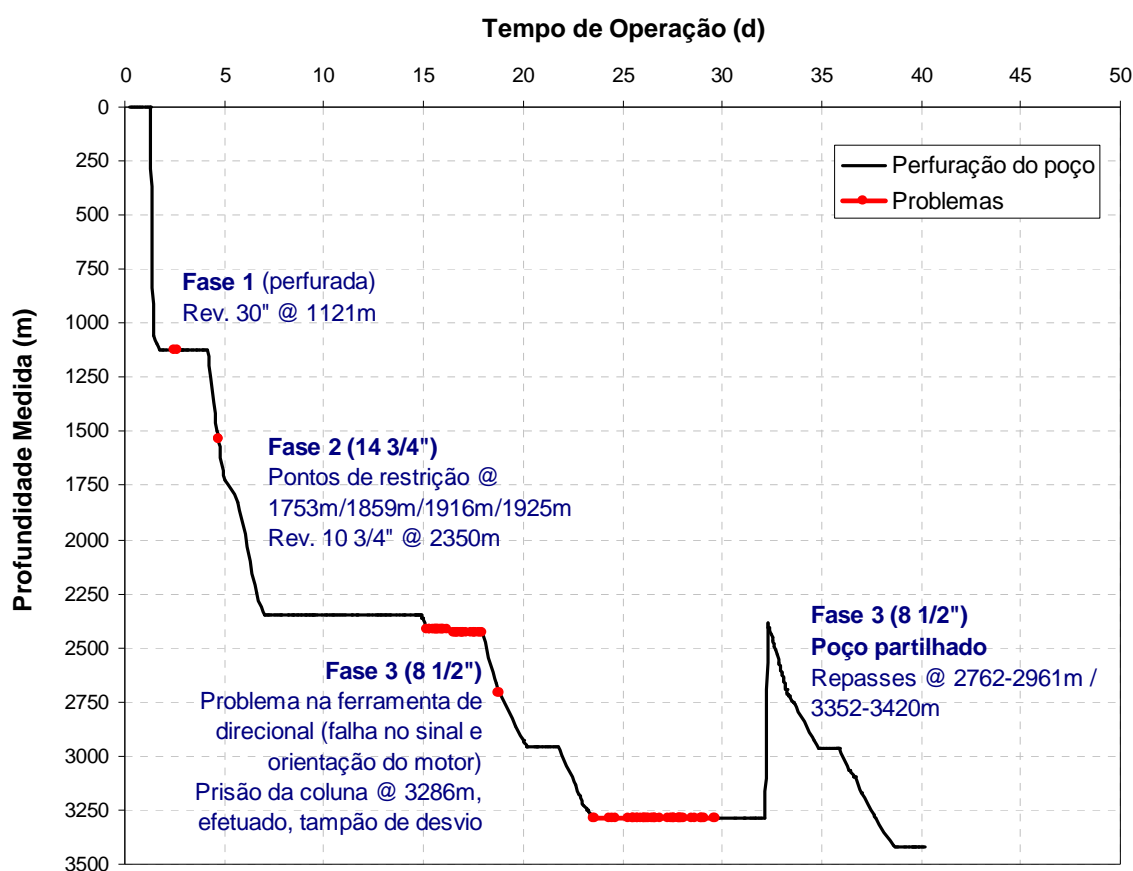


Figura 5.1. Curva Profundidade vs Tempo - Poço 4.

Como é possível observar, o poço cuja curva foi apresentada na Figura 5.1 foi perfurado em 3 fases, caracterizando a configuração de um poço *slender* (sem fase intermediária). Durante a perfuração da fase de 8 ½ pol, ocorreu um problema de prisão na coluna e, como não foi possível liberar a ferramenta, foi feito um tampão de desvio e um novo poço partilhado.

A verificação das causas dos tempos perdido identificados a partir da construção dessas curvas foi feita através da análise automatizada dos boletins de perfuração utilizando o sistema inteligente para classificação de textos, cuja metodologia foi descrita no capítulo 4.

5.2.2 Análise Automatizada dos Boletins de Perfuração

O sistema inteligente utilizado nesta etapa para analisar os boletins de perfuração de maneira automatizada se baseia na elaboração de um dicionário que caracteriza problemas de perfuração.

O dicionário foi elaborado utilizando informações dos próprios boletins e com o auxílio de um especialista da área. A Tabela 5.2 contém exemplos alguns dos eventos anormais caracterizados com os respectivos conceitos. O dicionário completo encontra-se no Anexo 1.

Tabela 5.2. Dicionário com exemplos de problemas caracterizados.

Conceito	Problema
aguard_cond_meteorológ	Aguardando condições meteorológicas
chec_drag	Aumento de drag
desencer_bha	BHA encerado
efetu_back	Back reaming
excess_drag	Aumento de drag
excess_torqu	Torque excessivo
limp_poço	Circulando para limpeza do poço
pack_hidrául	Packer hidráulico
perd_form	Perda de circulação
pesc_peix	Pescaria
pres_ferment	Prisão de ferramenta
presa_colun	Prisão de coluna
qued_press	Queda de pressão
reduz_press	Queda de pressão
repass_pont	Repasse
repass_trech	Repasse
resist_batent	Batentes
resist_pont	Aumento de drag
repass_drag	Aumento de drag
encer_bha	BHA encerado
circul_limp	Circulando para limpeza do poço
desc_revest_dificuld	Aumento de drag
pris_colun	Prisão de coluna
pesc	Pescaria
elev_drag	Drag elevado
pack_hidrául_susp	Packer hidráulico

A partir do dicionário elaborado, foi possível analisar a amostra de boletins disponível para este estudo e identificar os eventos anormais descritos nos documentos. A Tabela 5.3 contém os principais problemas identificados na perfuração do poço 4.

Tabela 5.3. Problemas encontrados na perfuração do poço 4.

Fase	Data	Hora	Duração (h)	Prof. Medida (m)	Descrição do Problema
1	08/08/03	14h	3,5	1121	Detectado vazamento nos orifícios do housing
2	11/08/03	20h	0,5	1536	Aguardando condições meteorológicas
2	13/08/03	9h	3	1753 – 2240	Pontos de restrição
3	21/08/03	10h	63,5	2415	Reparo sonda
3	25/08/03	21h30	2	2704	Reparo sonda
3	29/08/03	15h30	74,5	3286	Prisão de coluna

É importante ressaltar dois aspectos nesse processo: a eficiência do sistema e, obviamente, a sua utilidade. O primeiro está relacionado com a confiabilidade e rapidez de resposta do sistema automatizado quando comparado com uma análise manual, enquanto o segundo está associado com a importância dos resultados para a obtenção de operações mais eficientes.

Para verificar a eficiência da classificação automatizada, seus resultados foram comparados com uma análise manual previamente feita utilizando a mesma amostra de boletins diários de perfuração. Este processo manual consistiu, basicamente, na leitura dos documentos, identificando todos os problemas neles contidos, gerando uma tabela semelhante à apresentada anteriormente.

A comparação entre ambos os resultados permitiu verificar algumas diferenças entre os dois processos. Em um primeiro momento, a análise automatizada apresentou quantidade bem superior de eventos anormais identificados do que a análise manual, porém muitos deles não se tratavam de problemas reais. O principal motivo para tal resultado foram falhas observadas na primeira versão elaborada do dicionário, que continha muitos conceitos que não caracterizavam bem os problemas levantados.

Para ilustrar tal dificuldade, no relatório que continha o texto “Controlada perda para a formação”, por exemplo, o sistema identificou o problema de perda de circulação, quando na

verdade o texto descrevia que o mesmo já tinha sido solucionado. Outro problema observado com o uso da primeira versão do dicionário foi a identificação de vários problemas repetidos, quando na verdade se referiam a evento único.

A detecção deste tipo de situação possibilitou efetuar um ajuste no dicionário adicionando restrições aos conceitos que caracterizavam os problemas. Por exemplo, a palavra “controlada” foi adicionada nas restrições do conceito “perd_form” do dicionário, que caracteriza o problema de perda de circulação. Com isso, em uma nova análise do mesmo texto “Controlada perda para formação” usando o novo dicionário, o sistema não mais associou o texto ao problema de perda.

A elaboração e o ajuste do dicionário com base na classificação manual e na comparação de ambos os resultados foram as etapas que demandaram mais tempo neste processo. Finalizadas estas etapas, no entanto, a aplicação do sistema utilizando o dicionário para classificar uma nova amostra de textos demora apenas alguns minutos, resultando em uma enorme economia de tempo quando comparado à duração de uma cuidadosa análise manual.

O resultado da análise dos boletins também permitiu gerar um gráfico de Pareto, contendo a frequência de todos os problemas identificados no poço 4, ilustrado na Figura 5.2. O resultado dos demais poços é apresentado no Anexo 3.

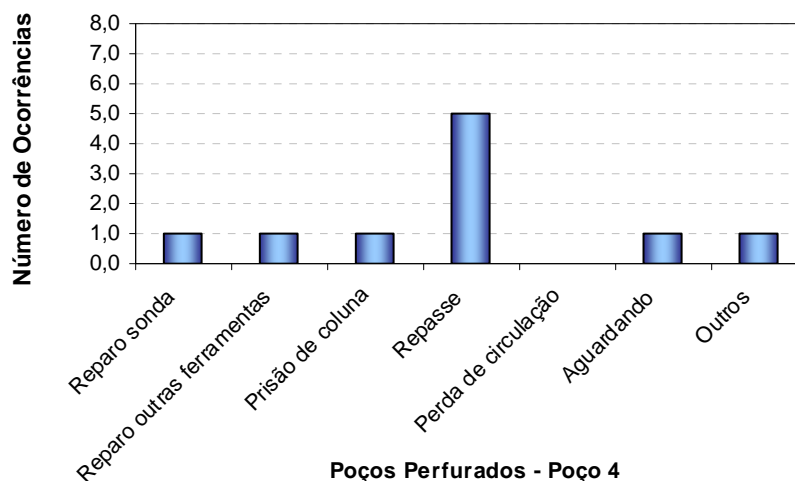


Figura 5.2. Gráfico de Pareto dos problemas encontrados no poço 4.

Como é possível observar, a maioria das anormalidades encontradas nos boletins são repasses, indicando provável condição de instabilidade geomecânica durante a perfuração do poço 4. A maior parte dos pontos de repasse encontravam-se na fase 2 do poço, no intervalo de 1800 a 2200m aproximadamente. Nesse caso, é importante avaliar as características desse trecho, como litologia, tipo de fluido utilizado, peso do fluido. No entanto, nos dados disponibilizados para este poço não constam informações sobre a fase 2, existindo registro desses parâmetros somente a partir da fase 3.

Esse tipo de resultado é interessante para identificar as anormalidades mais comuns em cada etapa. Este tipo de informação pode ser bastante útil, pois, ao demonstrar os principais problemas ocorridos, permite que as empresas priorizem e tratem aqueles considerados mais críticos, garantindo, desta forma, maior relação custo-benefício. Este gráfico também pode ser utilizado para propósitos de treinamento, melhorando o desempenho das operações naquelas áreas identificadas como mais deficientes.

As anormalidades identificadas também foram mapeadas ao longo da trajetória do poço com o objetivo de identificar trechos com maior probabilidade de ocorrer problemas, como trechos de ganho de ângulo e correção de azimute. A Figura 5.3 ilustra o exemplo do mapeamento feito para um dos poços analisados

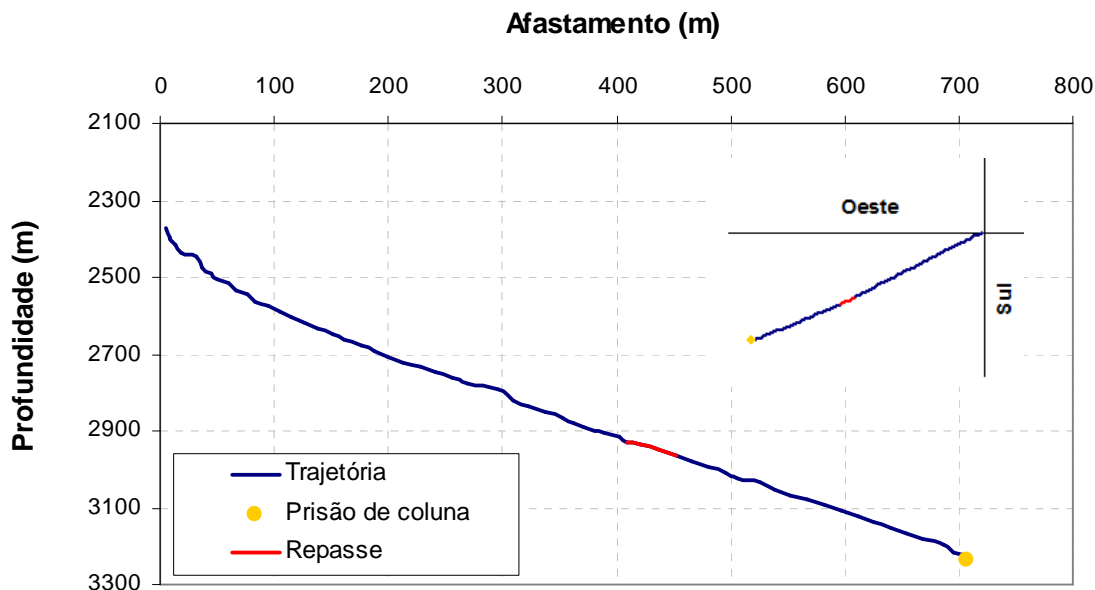


Figura 5.3. Problemas mapeados na trajetória do poço 4.

Para cada evento identificado, foram levantados os parâmetros de perfuração no momento de sua ocorrência (ECD, azimuth, inclinação, tipo de fluido). Nos casos onde os dados de ECD não estavam disponíveis, foi utilizado o peso do fluido.

5.2.3 Levantamento do Tempo Não-Produtivo

Para concluir a última etapa da fase de análise dos dados, foram utilizados os dados de *mudlogging* para obter as curvas de Profundidade Perfurada vs Tempo de Broca no Fundo com o objetivo de identificar os tempos não produtivos. Apenas lembrando que, neste trabalho, esses tempos não produtivos correspondem aos trechos onde broca está no fundo do poço, mas não é observado avanço na profundidade, situação a qual é identificada pela presença de patamares nas curvas construídas.

Os gráficos foram construídos para as fases 12 ¼" e 8 ½" de cada poço analisado. Em alguns casos, foram obtidas mais de uma curva devido à utilização de mais de uma broca durante a perfuração da mesma fase. Neste caso, percebe-se uma quebra na continuidade da curva de avanço de profundidade, como pode ser visto no exemplo do poço ilustrado na Figura 5.4.

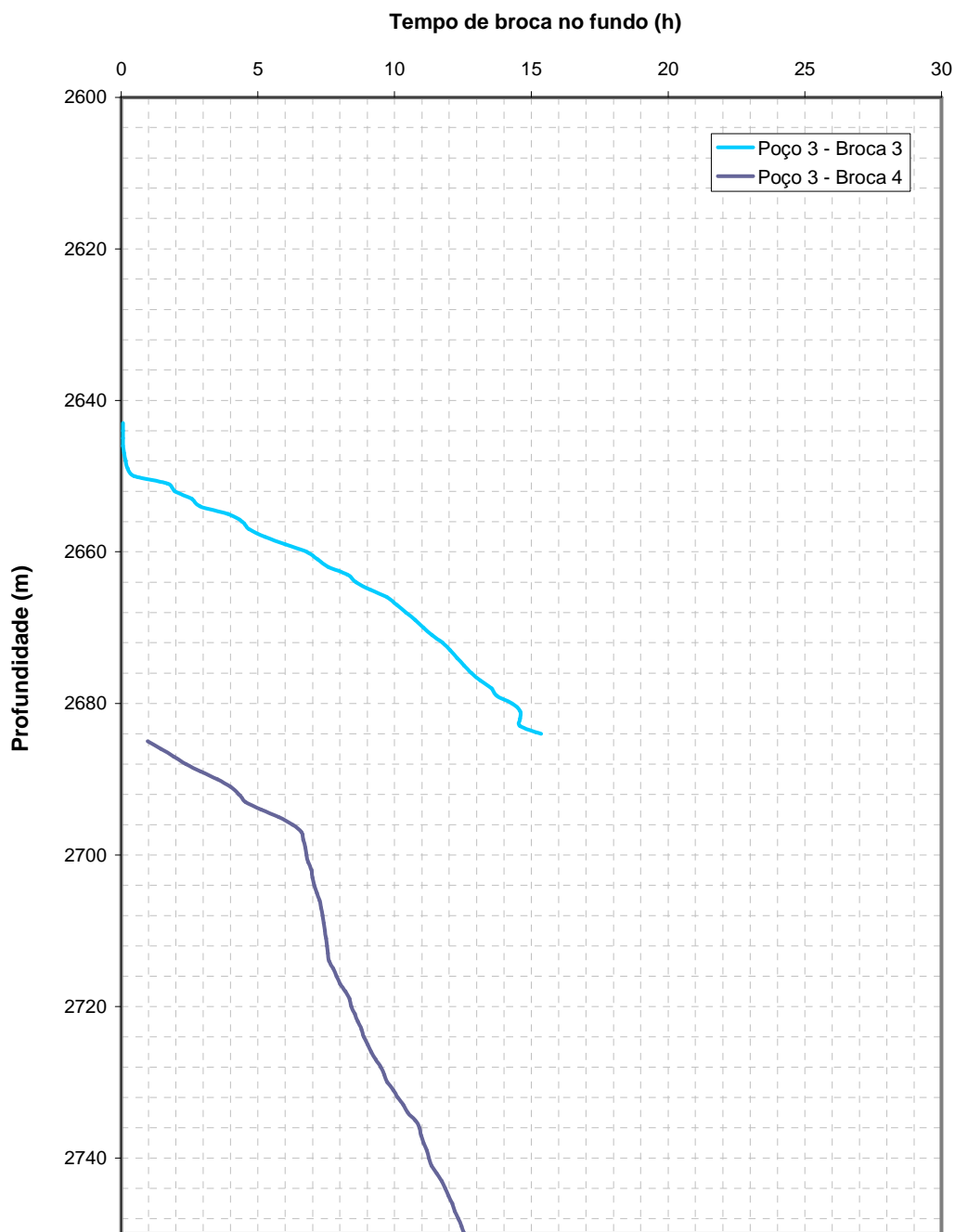


Figura 5.4. Curva Profundidade vs Tempo do poço 3 - Fase 12 ¼”.

Devido à dificuldade de identificação dos patamares na escala da figura ilustrada anteriormente, optou-se pela obtenção das curvas em trechos menores, permitindo, assim, uma melhor visualização de patamares nos gráficos. Desta maneira, as curvas foram reproduzidas em trechos de 500 metros, em média, para cada fase considerada. A Figura 5.5 contém uma das

ilustrações obtidas, na qual se pode perceber a maior facilidade de identificação desses tempos não produtivos.

É importante salientar que, para identificação dos patamares nas curvas, foram considerados dois critérios: trechos onde não ocorreu avanço algum da profundidade da broca (patamares completamente horizontais) e trechos onde ocorreu avanço da broca, mas não de maneira significativa, ou seja, percebem-se patamares levemente inclinados nas curvas.

Todos os trechos identificados que tinham duração relativamente significativa (de, no mínimo, meia hora) nas diferentes curvas obtidas foram numerados e, assim como foi feito durante o levantamento dos problemas, cada patamar verificado nas curvas foi associado aos parâmetros de perfuração correspondentes à hora de sua ocorrência.

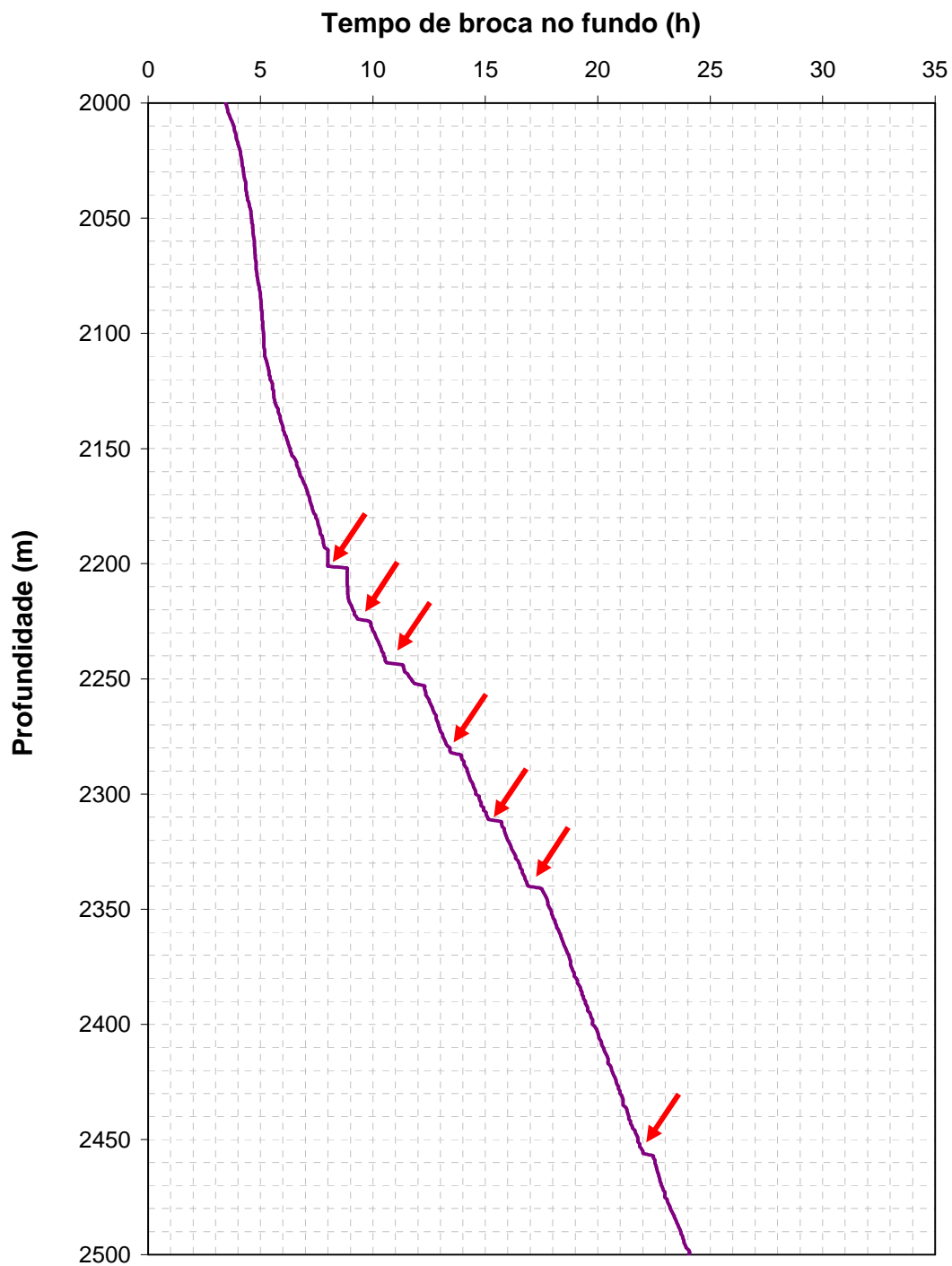


Figura 5.5. Curva obtida para o poço 9 na fase 12 ¼" - trecho de 2000m a 2500m

É importante salientar que, para todos os patamares identificados, foram pesquisados os trechos correspondentes nos boletins para verificar se havia algum evento ali descrito que justificasse aquele tempo, porém apenas 20% deles tiveram sua causa identificada. Como a natureza de ocorrência dos demais eventos não estava descrito, foi necessário utilizar outras fontes para investigar as causas do tempo perdido nas operações.

Nesses casos, foram utilizados dados de *mudlogging*, sendo analisados três parâmetros principais: profundidade da broca, peso no gancho e pressão de bombeio. Uma interpretação desses três parâmetros nas profundidades correspondentes a cada patamar permitiu ter uma idéia do tipo de evento que estava em andamento, tendo sido identificado, na sua maioria, atividades de circulação do poço (quando a profundidade da broca permanecia constante, e os valores de peso sobre o gancho e pressão de bombeio eram diferentes de zero).

Apesar desse maior esclarecimento sobre a origem do tempo não-produtivo identificado nos gráficos arara dos diferentes poços, os parâmetros de *mudlogging* analisados também não revelaram o motivo dessas ocorrências. Este é um importante ponto abordado por este trabalho, já que ficam visíveis os problemas relacionados com a qualidade das informações geradas no campo, onde muitas vezes o boletim disponibiliza informações incompletas e outras sequer as contém, alertando para a necessidade de melhorar a qualidade dos dados disponibilizados já que esses documentos podem ser uma valiosa fonte de conhecimento para novos projetos.

Desta maneira, a utilização de outros recursos apresentados pelo estudo aqui descrito, como o cálculo do tempo não-produtivo e dos repasses, permite ter uma idéia dos principais aspectos de projeto que podem melhorar ou piorar o desempenho de uma operação (fluido mais adequado, direção preferencial de perfuração, etc), mesmo não sendo possível verificar, em alguns casos, os reais problemas que acarretaram no tempo perdido das atividades.

Uma vez analisados os resultados dos poços obtidos individualmente, o passo seguinte foi agrupar as informações de todas as operações a fim de identificar um padrão de ocorrência dos problemas e, assim, consolidar o conhecimento do campo.

5.3 Gerenciamento da Informação e Aplicação em Novos Projetos

Esta etapa consistiu, basicamente, no agrupamento das informações obtidas na análise dos diferentes poços com o objetivo de caracterizar as fases e os problemas esperados em cada uma delas durante a perfuração de um poço no campo estudado.

Para analisar o desempenho dos poços utilizando o gráfico arara, a amostra foi dividida em grupos com características semelhantes com relação à lâmina d'água e profundidade. A Tabela 5.4 mostra como os poços foram agrupados. O último grupo contém os poços 1, 2 e 4, que não possuem características similares aos demais.

Tabela 5.4. Grupos de poços de correlação.

Grupo 1	Poços 5, 7 e 9
Grupo 2	Poços 3, 6 e 8
Grupo 3	Poços 1, 2 e 4

As curvas de Profundidade vs Tempo do poços pertencentes ao Grupo 1 estão ilustradas na Figura 5.6. Os dados de algumas fases perfuradas dos poços pertencentes a este grupo não estavam disponíveis, apenas o poço 5 estava com os dados completos, dificultando a análise e a identificação de um padrão de ocorrências.

Dos três poços, apenas um deles tinha em sua configuração a fase intermediária, por se tratar de um poço horizontal partilhado. As fases de produção têm profundidades similares, mas não é observado um padrão claro de eventos, como repasses e pontos de restrição, na análise deste grupo.

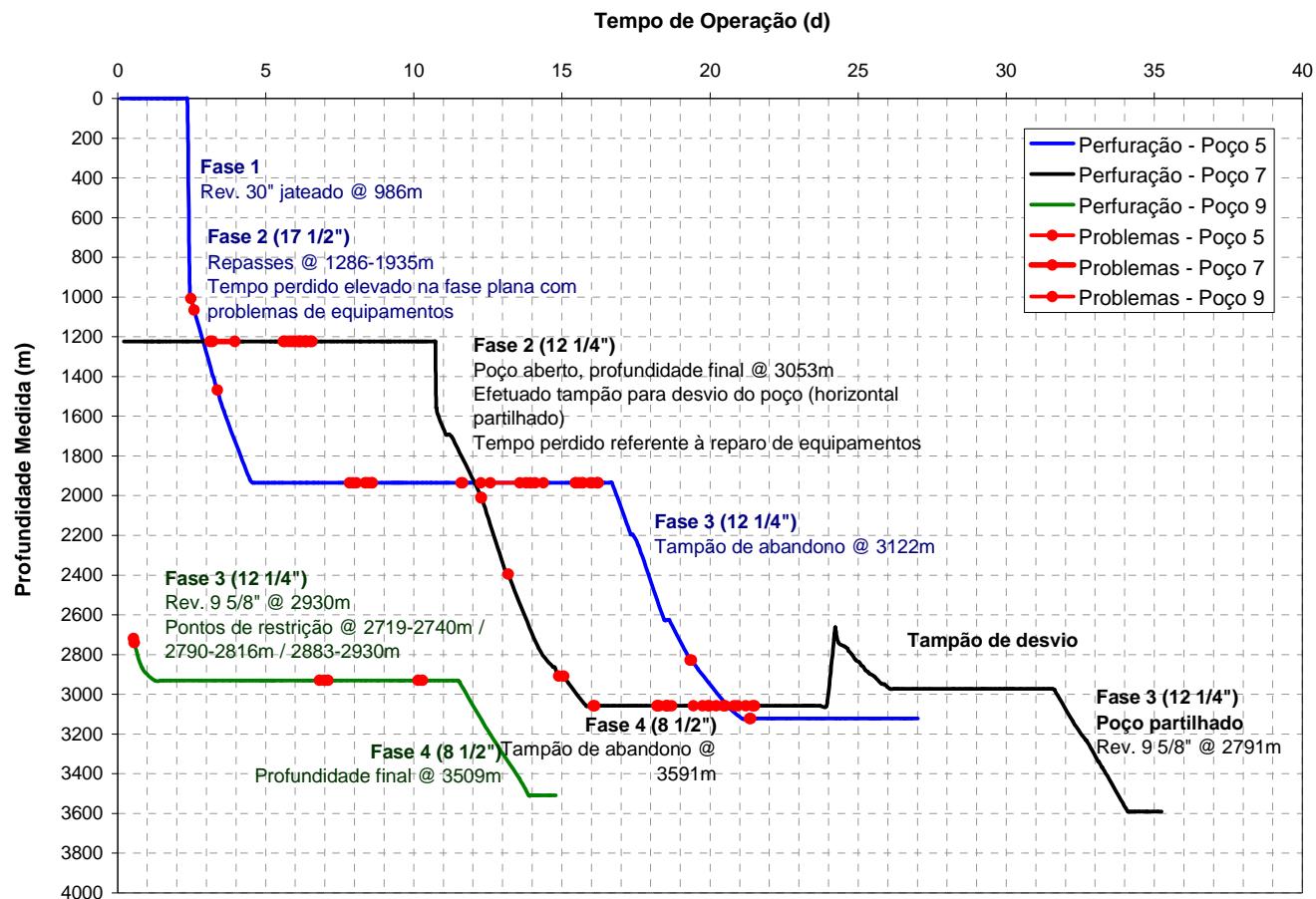


Figura 5.6. Curva Profundidade vs Tempo – Poços 5, 7 e 9

As curvas de Profundidade vs Tempo dos poços pertencentes ao Grupo 2 estão ilustradas na Figura 5.7. É possível observar certa semelhança entre as configurações das fases dos poços analisados, principalmente os poços 6 e 8, que são poços verticais. O poço 3, por ser direcional, apresentou profundidade maior e tempo de perfuração bem mais significativo na última fase, isso também por conta das operações de testemunhagem realizadas.

Outro ponto a ser observado é a maior incidência de problemas durante a fase plana do poço, assim como no grupo anterior, com repasses e *drags* durante manobra da coluna, problemas de perfilagem e revestimento topando. Porém, novamente não fica muito evidente um padrão de ocorrências de pontos de restrição em profundidades similares dos poços, apesar de existirem diversos trechos problemáticos encontrados durante a perfuração dos poços.

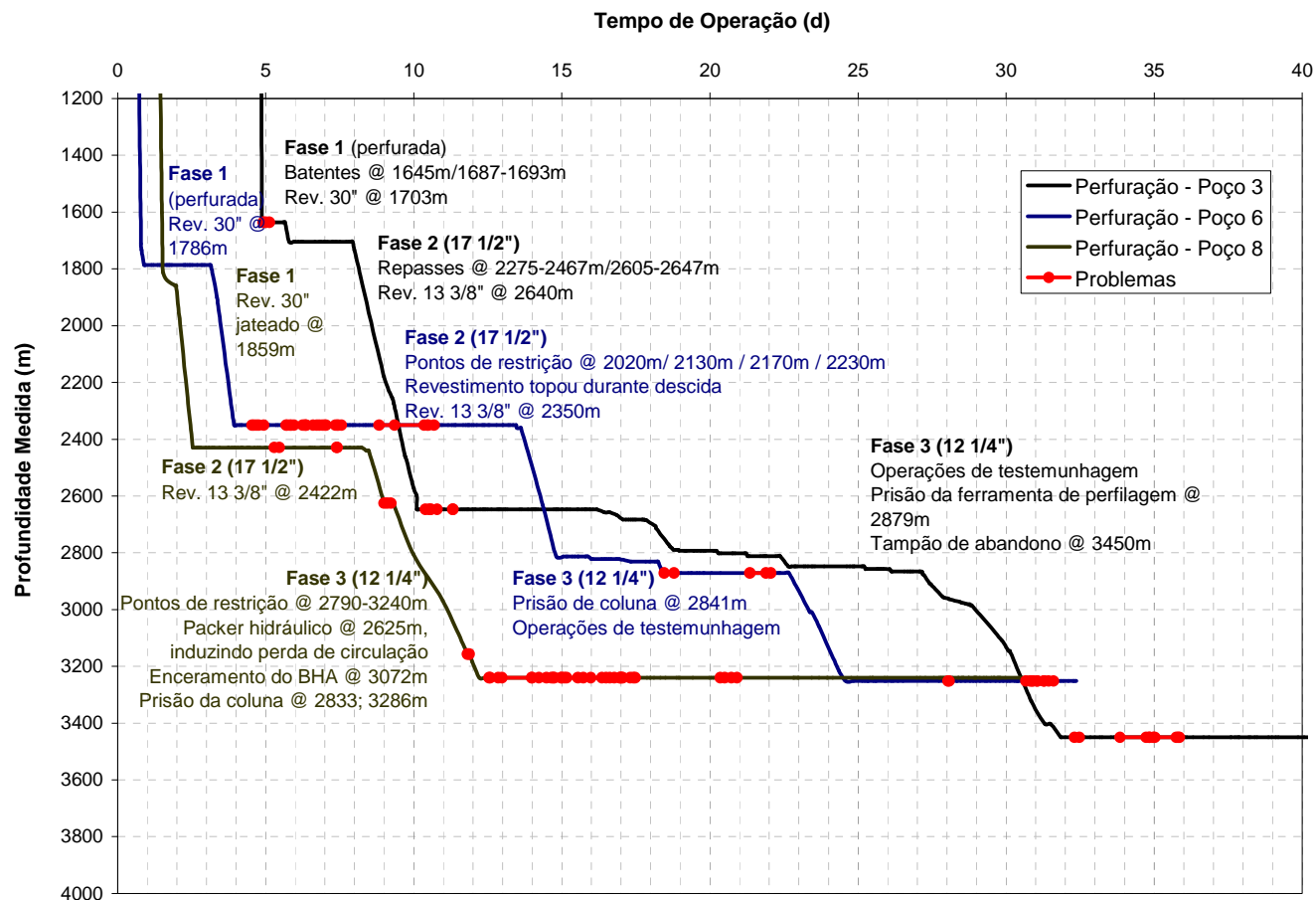


Figura 5.7. Curva Profundidade vs Tempo – Poços 3, 6 e 8

Observando as curvas, é possível perceber também que os tempos de trabalhos complementares da fase 1 e de perfuração do último poço foram menores. No entanto, este foi o poço que apresentou maior quantidade de problemas, com ocorrência de *packer* hidráulico, enceramento do BHA e até prisão da coluna. Este resultado indica que não houve aprendizado com as operações anteriores ou, se houve, não foi aplicado ou dado devida atenção.

Investigando cada ocorrência analisada, foi possível identificar os prováveis parâmetros associados a cada um dos eventos. No caso do enceramento, por exemplo, o mesmo ocorreu durante a perfuração de um trecho com diversas intercalações de marga no qual foi utilizado fluido base água. Este tipo de anormalidade serve como alerta para outras operações onde também está previsto atravessar trechos de marga, formação muito suscetível a esse tipo de

ocorrência. Nesse caso, é estar sempre atento às características do fluido, vazão aplicada e outros parâmetros para evitar encerramento.

No caso do tipo de início do poço, a análise dos dados deste grupo de poços também permitiu verificar como o aprendizado sobre o campo pode melhorar a eficiência das operações. Por exemplo, no primeiro poço feito (poço 3), a fase inicial foi perfurada, na qual foi detectada a presença de batentes, o que dificultou bastante a conclusão desta fase.

No poço 6, a fase inicial também foi perfurada, provavelmente devido à possibilidade de também serem encontrados batentes pela proximidade do poço anterior. No entanto, como durante essa segunda operação não foi detectada a presença desses batentes, no poço seguinte (poço 8) o revestimento condutor já foi instalado através de jateamento, o que reduziu bastante o tempo de conclusão da primeira fase, otimizando o tempo de sonda.

Considerando todos os problemas identificados em cada uma das fases dos poços analisados, é possível obter um resumo conforme consta na Tabela 5.5 por fase perfurada. Como os problemas geomecânicos ocorreram, em sua maioria, na fase de produção (com exceção de repasses e pontos de restrição), apenas os problemas encontrados na perfuração da fase de produção dos poços são apresentados a seguir.

Tabela 5.5. Problemas de perfuração – Fase de produção.

Fase	Data	Hora	Duração	Prof. Medida (m)	Prof. Vertical (m)	Descrição
Produção	29/08/XX	15:30	118,0	3286	2700	Prisão de coluna
	29/04/XX	19:00	4,0	3165	2835	Prisão de coluna
	25/09/XX	20:00	8,5	2841	2841	Prisão de coluna
	20/10/XX	14:00	1,5	3157	3157	Perda de circulação
	21/10/XX	13:20	44,5	2833	2833	Prisão de coluna
	18/10/XX	18:30	2,5	2625	2625	Packer hidráulico, perda de circulação

Considerando a Tabela 5.5, é interessante observar que dois poços apresentaram problema de prisão de coluna praticamente na mesma profundidade, a 2841m e a 2833, respectivamente. Como ambos foram perfurados pela mesma sonda, era esperado que no segundo poço o problema

não se repetisse ou fosse de menor intensidade, assumindo que seriam adotadas medidas preventivas. No entanto, ocorreu o inverso, e o segundo poço perfurado apresentou prisão ainda mais severa do que na primeira operação, indicando que não houve aplicação de medidas para mitigar a ocorrência desse problema.

Além disso, foram detectados outros eventos também na perfuração da fase de produção que mostraram certa recorrência de problemas em profundidades verticais em torno de 2800m. Este resultado pode ser reforçado pelo gráfico de barras apresentado na Figura 5.8 que contém o tempo não-produtivo distribuído por profundidade vertical. Este comportamento também pode estar associado ao fato de que esta profundidade pertence ao intervalo de *build up*, onde é comum a ocorrências de problemas geomecânicos por se tratar de um trecho crítico.

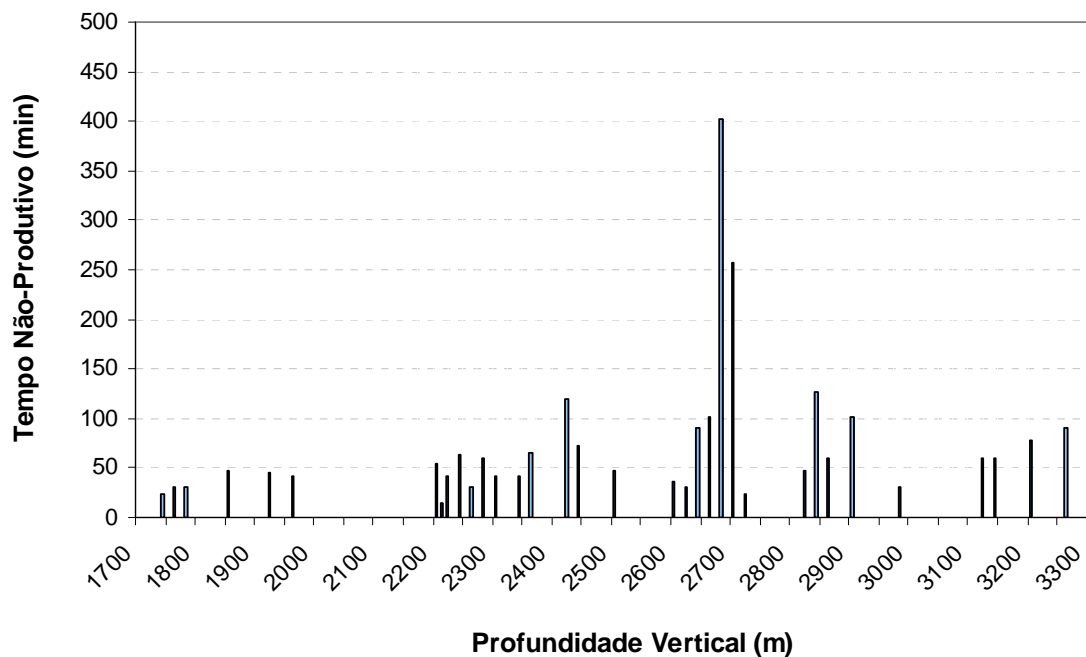


Figura 5.8. Tempo não-produtivo por profundidade vertical.

É importante salientar que este tipo de informação é de grande utilidade na elaboração de novos projetos, devendo os especialistas adotarem medidas preventivas para ocorrência desses problemas na perfuração de novos poços, evitando, assim, a repetição e a perda de tempo para solucionar essas anormalidades.

Os problemas encontrados também foram mapeados na trajetória dos poços com o objetivo de verificar a existência de algum tipo de padrão na ocorrência de eventos anormais em trechos ganho de inclinação ou correção de azimuth, conforme ilustrado nas Figura 5.9 e 5.10. A primeira delas ilustra a curva de Profundidade vs Afastamento, apontando trechos com ganho de inclinação e dando uma idéia da extensão do afastamento do poço. Já na Figura 5.10, estão contidas as trajetórias mostrando as direções nas quais os poços foram perfurados.

Em ambas as figuras, cada ponto vermelho representa alguma ocorrência identificada durante a perfuração do poço, como repasses, perda de circulação, entre outras, ou ainda algum tempo não-produtivo levantado nos gráficos arara.

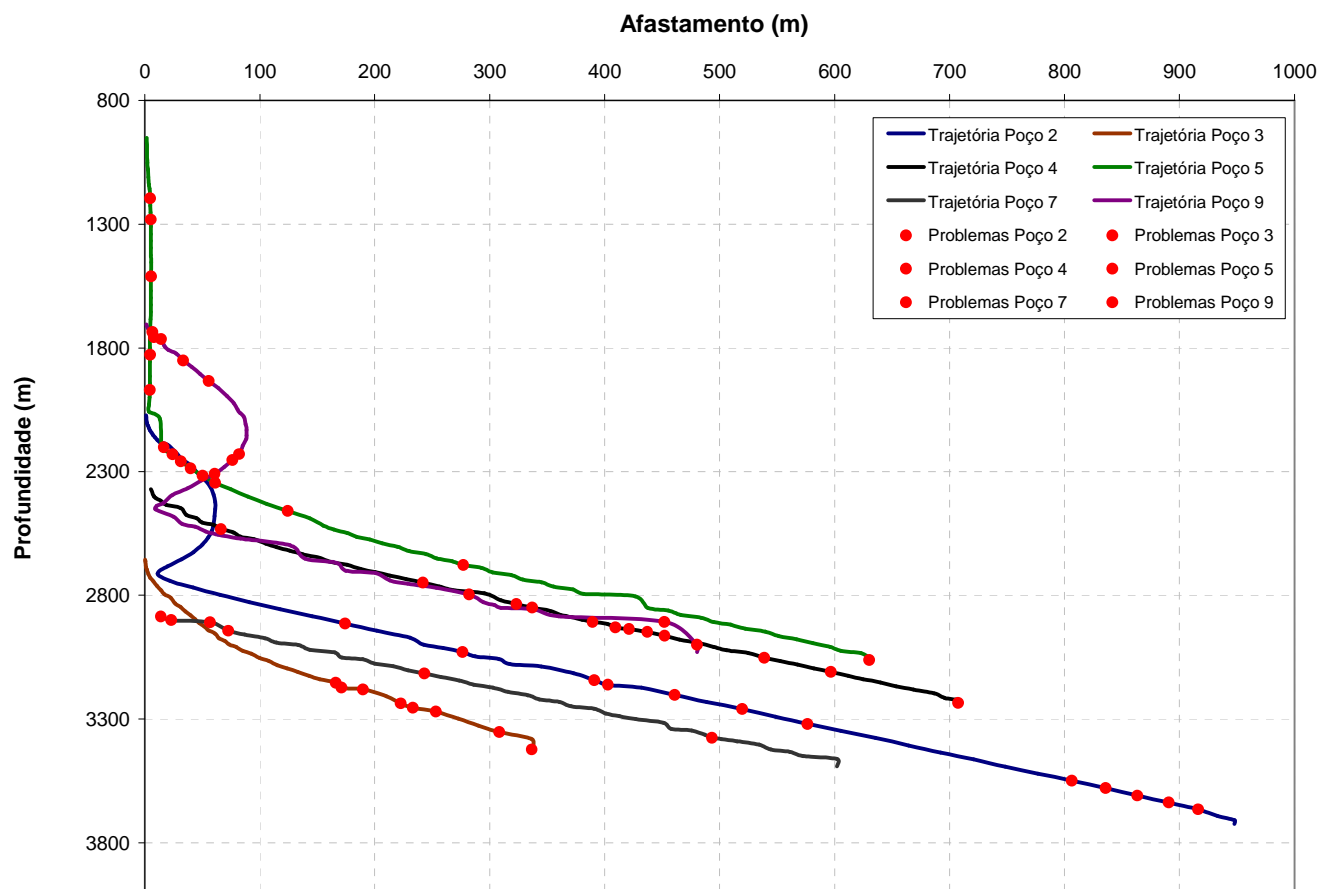


Figura 5.9. Problemas mapeados na trajetória dos poços – Profundidade vs Afastamento.

Observando o gráfico da Figura 5.9, é possível verificar que a maior parte das ocorrências encontra-se em trechos de início de ganho de inclinação ou à medida que o afastamento do poço aumenta, demonstrando que estes seriam trechos críticos durante a operação. No caso do poço 9, onde houve correção da trajetória, a incidência de ocorrências também foi bem maior nesse trecho.

Considerando a Figura 5.10, é possível observar ainda que a maioria dos problemas mapeados ocorre nos azimutes de 120 e 340 graus e na direção perpendicular, azimutes de 40 e 230 graus. Em uma observação inicial, seria razoável afirmar que existe maior probabilidade de ocorrer problemas em poços perfurados nessas direções, indicando valores de azimutes críticos, provavelmente relacionado com a direção das tensões principais atuantes no campo.

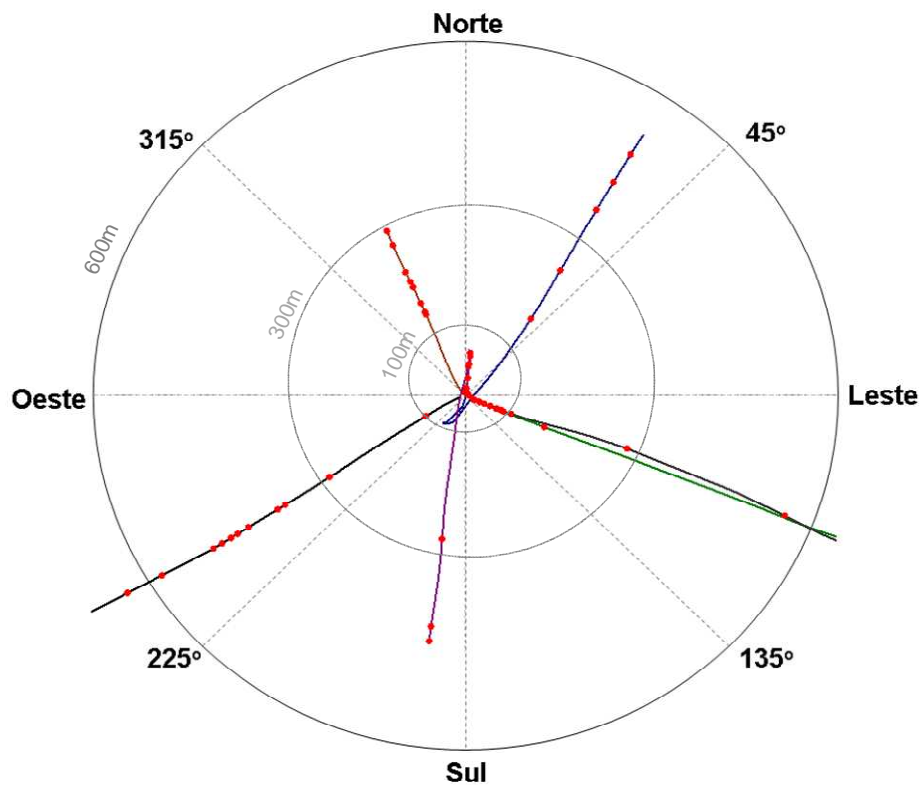


Figura 5.10. Problemas mapeados nas trajetórias dos poços.

Analisando o mesmo resultado com gráfico de barras, considerando apenas o tempo não-produtivo e os trechos de repasse, é possível perceber uma distribuição regular de tempos não

produtivos em diversas direções, porém a quantidade de repasses no azimuth de 120 graus é bem mais significativa do que nas demais direções. Note que, no gráfico da Figura 5.11, o intervalo de valores de azimuth varia apenas de zero a 180 graus. Isto porque, para aqueles casos onde o azimuth era maior do que 180 graus, os mesmos foram substituídos por valores equivalentes, ou seja, que têm a mesma direção, por sentidos opostos (exemplo: repasses no azimuth de 320 graus foram contabilizados para o ângulo de 140 graus).

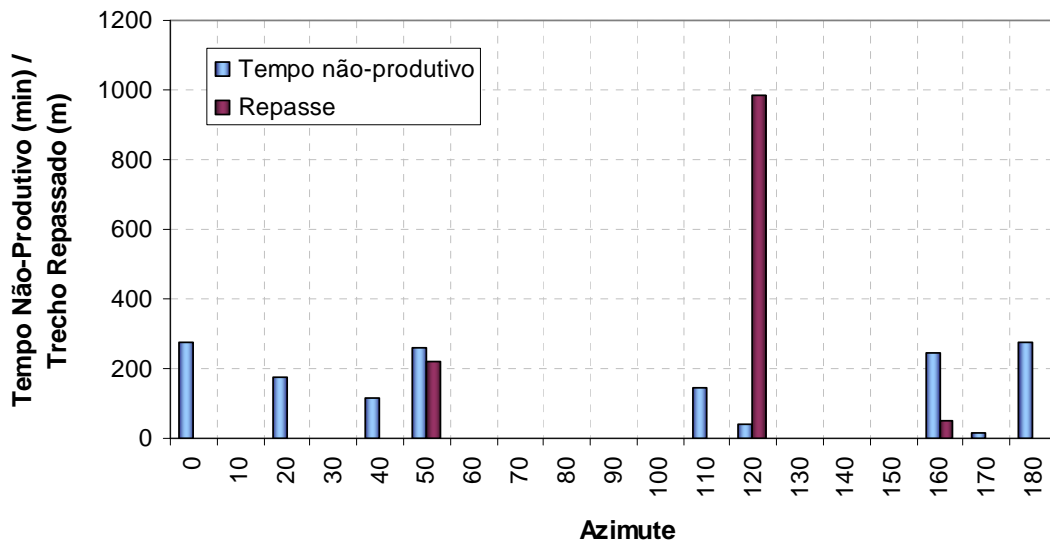


Figura 5.11. Repasse e Tempo não-produtivo vs Azimute.

Observando a Figura 5.11, é possível perceber comportamento semelhante ao resultado obtido na Figura 5.10, o que reforça a idéia de que tal direção seria crítica na perfuração de um poço no referido campo. No entanto, é importante lembrar que outros fatores também podem influenciar este resultado, devendo ser feita também uma análise dos mesmos.

Para avaliar a influência da inclinação de um poço, foi construído um gráfico de trechos de repasse e tempo não-produtivo de maneira semelhante ao azimuth, conforme ilustrado na Figura 5.12. No gráfico, as inclinações de 0 e 90 graus apresentam maior quantidade de repasse e tempo não-produtivo. Este desempenho nos poços verticais, no entanto, não é um comportamento esperado ao considerarmos que um poço vertical seria menos suscetível a problemas

geomecânicos do que um poço inclinado. No entanto, não se pode esquecer que outros parâmetros além da inclinação podem estar associados a este resultado, devendo-se analisar a influência dos mesmos.

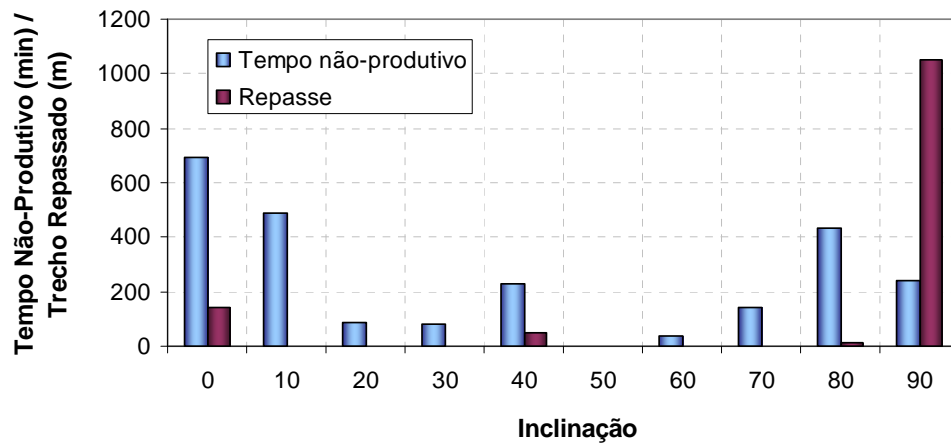


Figura 5.12. Repasse e Tempo não-produtivo vs Inclinação.

Já na análise por tipo de poço, é possível perceber resultado mais expressivo e coerente, onde quantidade de repasses foi bem mais significativa em poços direcionais e horizontais, respectivamente, conforme ilustra a Figura 5.13

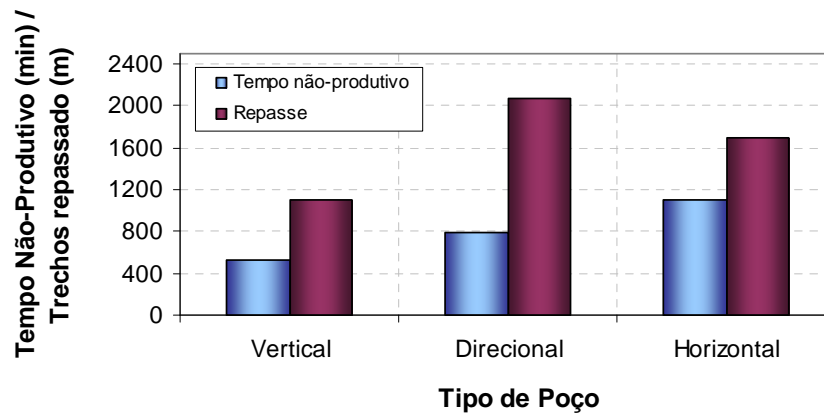


Figura 5.13. Tempo não-produtivo por tipo de poço.

Para análise do fluido de perfuração, foi considerado o tempo perdido relativo, ou seja, o percentual de tempo não-produtivo com relação ao tempo de perfuração. Foram considerados dois tipos de fluido: base água e base óleo (sintético). O resultado encontra-se na Figura 5.14.

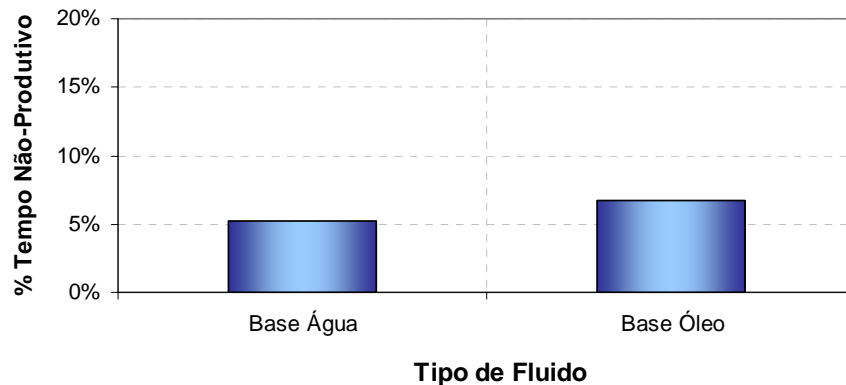


Figura 5.14. Percentual de tempo não-produtivo por tipo de fluido.

O gráfico mostra percentual de tempo não-produtivo com o fluido sintético um pouco maior do que o obtido com fluido base água. Este resultado, no entanto, não é muito significativo já que existe pouca diferença entre os valores obtidos com os dois tipos de fluido. Este resultado pode indicar que, como existe certo padrão nos percentuais, a escolha do fluido de maneira geral está adequada à formação, não existindo nenhum valor atípico que indique problemas de reatividade entre fluido-formação.

Nesse sentido, é importante avaliar também a influência da litologia nos tempos não produtivos. Novamente foi utilizado o valor percentual de tempo perdido, cujo resultado distribuído por litologia é apresentado na Figura 5.15.

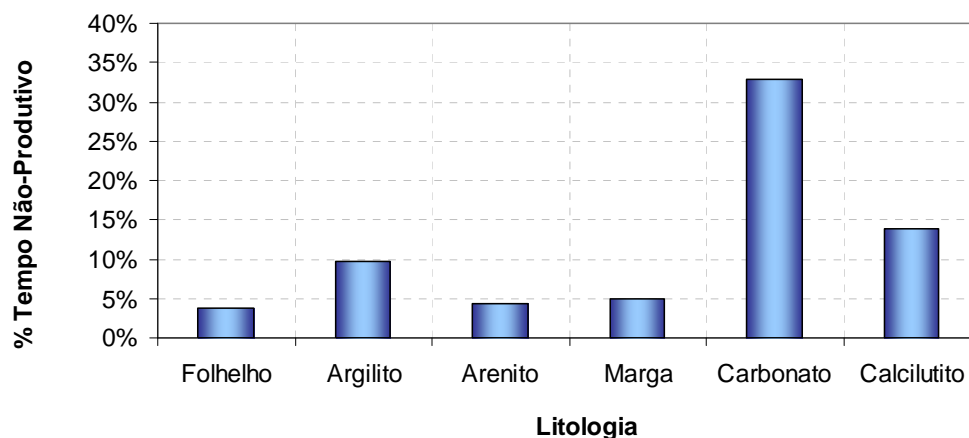


Figura 5.15. Percentual de tempo não-produtivo por tipo de formação.

Apesar de os maiores trechos perfurados nos poços se tratarem de folhelhos, o percentual de tempo não-produtivo foi bem maior em formações de carbonato e calcilito, perfuradas com fluidos base água e catiônico, respectivamente. Outro fator relevante a ser considerado é que, em ambos os casos, os poços eram horizontais ou direcionais, já se encontravam com grande inclinação e estavam direcionados justamente para o azimuth crítico apontados anteriormente, com exceção de um deles. Este resultado demonstra mais uma vez a importância e a influência do fator trajetória na perfuração de um poço.

Na análise do ECD, foi obtido outro tipo de gráfico, onde a janela operacional do poço foi construída utilizando os dados de ECD, pressão de poros, gradiente de fratura e profundidade do poço. A Figura 5.16 ilustra o resultado obtido para o poço 8, único poço que apresentou resultado anormal, com a curva de ECD abaixo da curva de pressão de poros.

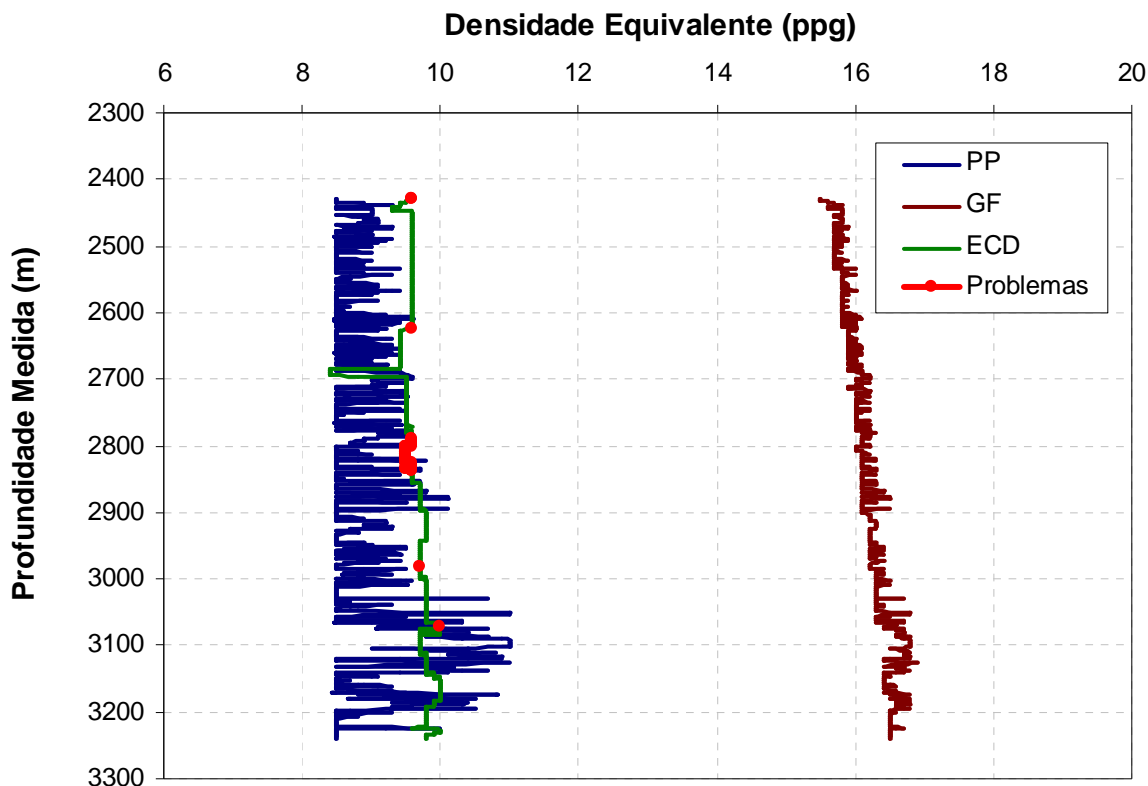


Figura 5.16. Janela operacional – Poço 8.

Como é possível perceber, em um trecho significativo da fase de produção, a curva de ECD está abaixo da pressão de poros da formação, indicando grande probabilidade de ocorrência de *kick*. No entanto, não existe nenhuma evidência deste tipo de ocorrência nos boletins nem nos relatórios disponíveis para análise, indicando duas possibilidades: formação não permeável ou valores incorretos.

Analisando a litologia perfurada do poço, no entanto, percebe-se que foram atravessadas diversas lentes de arenito (ou seja, formações permeáveis) sem indícios de *kick*, o que apontaria para provável erro na estimativa dos valores de pressão da formação, que são estimados a partir de correlações. Além disso, os valores de teste de absorção disponíveis reforçam esta teoria já que são bem diferentes dos estimados.

De qualquer maneira, como o poço apresentou diversos problemas geomecânicos (prisão, repasses, etc), a proximidade entre as curvas de ECD e pressão de poros (assumindo esta última

como sendo a de colapso inferior, já que não existem dados da mesma nos poços analisados) pode ser tomado como um forte indício de que aquele era um trecho de instabilidade, ou seja, que o peso do fluido não estava adequado e, portanto, o poço estava suscetível aos problemas que de fato ocorreram. Este é um aprendizado que deve ser levado em consideração na perfuração de outros poços.

Finalmente, verificando a curva de aprendizado com relação ao tempo perdido com eventos anormais, é possível perceber na Figura 5.17 que não houve continuidade no aprendizado durante a perfuração dos poços feitos pela sonda B. A quebra do processo de aprendizado ocorreu justamente na perfuração do poço 8 que, como foi analisado anteriormente, esteve suscetível a condições de instabilidade geomecânica (repasses, prisão, etc) provavelmente devido ao peso de fluido inadequado que foi utilizado.

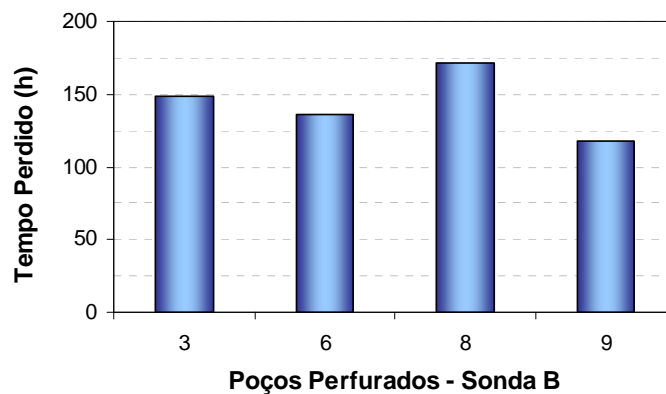


Figura 5.17. Tempo perdido com eventos anormais durante a perfuração dos poços- Sonda B.

Esse resultado pode ainda ser desmembrado por tipo de ocorrência. A Figura 5.18 mostra o resultado obtido para a sonda A, onde estão ilustrados os tempos perdidos com cada problema, ficando evidente, assim, quais são aqueles mais críticos. No caso dessa sonda em particular, fica claro que a quebra na tendência do aprendizado deve-se a problemas de reparo de sonda, o que, na prática, não determina o conhecimento do campo, e sim a eficiência da sonda.

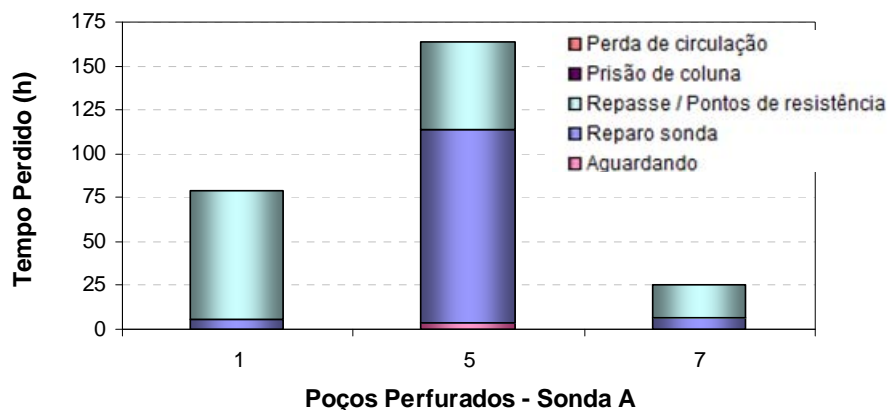


Figura 5.18. Tempo perdido com eventos anormais durante a perfuração dos poços – Sonda A.

Analisando apenas os eventos relacionados com as condições de estabilidade geomecânica do poço, percebe-se que houve uma redução na quantidade de repasses e outros problemas de instabilidade, fica evidenciado que, no caso desta sonda, houve aprendizado sobre a área.

5.4 Considerações sobre os Resultados do Estudo de Caso

Considerando os resultados de cada etapa aplicada da metodologia que está sendo proposta neste trabalho, é possível reconhecer algumas características do campo que podem (e devem) ser levadas em consideração na elaboração de novos projetos.

Para a fase do condutor, por exemplo, como existem áreas onde foi registrada a presença de batentes, foi feito um mapeamento e, nas regiões onde foram detectadas essas ocorrências é recomendado que a primeira fase do poço seja perfurada, e não jateada.

Para a perfuração da fase de superfície, todos os poços utilizaram fluido base óleo, provavelmente pelo grande trecho de folhelhos a ser perfurado, evitando, assim, problemas de reatividade entre fluido e formação. Na análise dos dados, verificou-se pequena quantidade de repasses na perfuração dessa fase, com a maioria dos poços apresentando apenas alguns pontos de restrição e no trecho final da fase, indicando, assim, que a escolha do fluido está adequada para as características do campo.

Ainda sobre a fase de superfície, como a maioria dos poços perfurados tinha configuração de poço *slender*, ou seja, sem revestimento intermediário, a profundidade final da fase de superfície ficou um pouco maior, principalmente no caso dos poços direcionais e horizontais, cujo comprimento médio da fase ficou em torno de 900 metros, com exceção de um poço horizontal cujo trecho de *build up* foi feito ainda nesta fase. Para os poços verticais, o comprimento médio desta fase ficou em torno de 500 metros.

Apenas dois poços analisados apresentaram fase intermediária, cuja perfuração foi feita com fluido sintético. Em ambos, o trecho era de ganho de inclinação, porém com resultados bem diferentes durante a perfuração da fase. Enquanto o primeiro praticamente não apresentou problemas geomecânicos, mesmo com um comprimento de fase maior, o segundo apresentou diversos trechos com repasse e outros indícios de instabilidade. Verificando a trajetória dos dois, é possível verificar que o segundo foi perfurado justamente na direção do azimute crítico, em torno de 120 graus, identificado anteriormente. Além desses problemas de repasse, não foram registrados problemas mais graves na perfuração desta fase, como perdas ou zonas de pressões anormais.

A maior parte dos problemas encontrados durante a análise dos dados foi identificada na perfuração da fase de produção dos poços: quatro registros de prisão de coluna, perda de circulação, *packer* hidráulico, entre outros. Como já foi mencionado anteriormente, foi identificada uma profundidade de grande risco para ocorrência de problemas, em torno de 2800 metros, na qual foram registradas algumas ocorrências de prisão de coluna.

Os comprimentos das fases variaram bastante, de acordo com a configuração do poço (com ou sem fase intermediária), tipo de poço (vertical, direcional e horizontal) e trecho de *build up*, ficando entre 600 e 1300 metros. Os poços horizontais partilhados foram os que apresentaram menor comprimento de fase, com exceção do poço 9, que teve a maior extensão.

Durante a perfuração desta fase, também não houve registro de pressões anormais, apesar de um poço ter apresentado a curva de pressão de poros acima da curva de ECD. Este indício, no entanto, deve ser analisado com maior cuidado já que não foram registrados indícios de *kick* e os valores de teste de absorção estavam bem abaixo daqueles estimados.

É importante ressaltar novamente a influência da trajetória do poço com relação ao azimute. Reconhecidas as direções críticas, onde a incidência de problemas é comprovadamente maior, a definição da trajetória do poço deve levar em conta esta informação, evitando, sempre que possível, a perfuração de poços nessas direções ou, pelo menos, adotando medidas que mitiguem a ocorrência de problemas.

No caso de poços horizontais, onde a quantidade de repasses foi elevada, fica evidente a necessidade de se trabalhar bem esses trechos, com maior controle das condições de estabilidade através de um bom dimensionamento do peso do fluido e da aplicação de vazões adequadas para garantir a limpeza do poço.

Finalmente, os resultados do estudo de caso aplicando a metodologia proposta neste trabalho permitiram obter informações relevantes sobre o campo estudado, disponibilizando-as para serem utilizadas na elaboração de novos projetos e, conseqüentemente, na obtenção de operações mais eficientes e com menores custos operacionais. A Tabela 5.6 apresenta um resumo de todas as análises feitas ao longo das diferentes fases da metodologia, destacando as principais considerações e recomendações de cada etapa concluída. O capítulo 6 apresenta as conclusões referentes ao estudo realizado.

Tabela 5.6. Resumo das etapas de aplicação da metodologia proposta.

Fase	Etapa	Análise	Conclusões	Recomendações
1. Aquisição e organização dos dados	-	-	-	-
2. Análise dos dados (análise individual de cada poço)	Caracterização das fases	Construção das curvas de profundidade vs tempo	Maioria dos problemas ocorridos durante a fase plana dos poços	Condicionar bem o poço e atentar para indício de problema durante manobras
	Análise automatizada dos boletins de perfuração	Identificação dos problemas e parâmetros relacionados com sua ocorrência	Enceramento ocorrido na perfuração de marga; instabilidade em poços perfurados com peso de fluido próximo à curva de colapso inferior	Aumentar peso de fluido; atentar para indícios de instabilidade do poço
		Gráfico de Pareto	Problema geomecânicos mais freqüentes: repasses e prisões	Verificar se parâmetros de projeto estão adequados
	Levantamento do tempo não-produtivo (TNP)	Identificação dos patamares (TNP) existentes nas curvas de profundidade vs tempo de broca no fundo	Durante a investigação dos patamares, apenas 20% tinham explicação nos boletins	Melhorar descrição das atividades nos boletins
3. Gerenciamento da informação (análise coletiva dos poços)	Análise dos parâmetros de projeto	Agrupamento das curvas de profundidade vs tempo dos poços de correlação	Identificação de trechos críticos; ocorrência de prisões em profundidades próximas (2800 m); existência de batentes em algumas áreas	Atentar para indícios de instabilidade nos trechos críticos; trabalhar com peso e tipo de fluido adequados; perfurar fase condutor em áreas onde existem batentes
		Mapeamento dos problemas na trajetória do poço (Profundidade vs Afastamento)	Maior parte dos problemas ocorreu em trechos de <i>build up</i> ou grande afastamento	Utilizar peso e tipo de fluido adequados; condicionar bem o poço
		Mapeamento dos problemas na trajetória do poço (Azimute)	Existência de direções críticas	Quando possível, evitar essas direções ao definir a trajetória do poço
		Gráfico de TNP / Repasse vs AZIMUTE	Confirmação da existência de direções críticas	Similar a anterior
		Gráfico de TNP / Repasse vs INCLINAÇÃO	Maior quantidade de repasse em poços horizontais e TNP em poços verticais (associado a outras causas)	Melhorar o condicionamento dos trechos horizontais
		Gráfico de TNP / Repasse vs TIPO DE POÇO	Maiores valores em poços direcionais e horizontais	Melhorar condicionamento do poço
		Gráfico de TNP / Repasse vs FLUIDO	Fluidos utilizados adequados (resultados similares)	Continuar utilizando fluido sintéticos em trechos de <i>build up</i>
		Gráfico de TNP / Repasse vs LITOLOGIA	Carbonatos e calcilutitos aparecem como as formações mais problemáticas	Associar o resultado com os demais dados para verificar a influência de outros parâmetros
		Gráfico de TNP / Repasse vs ECD	Ocorrência de instabilidades nos casos onde a curva de ECD estava abaixo do colapso inferior	Aumentar o peso do fluido
		Curva de aprendizado	Não houve aprendizado sobre o campo na sonda B	Disseminar o conhecimento sobre o campo com a equipe

Capítulo 6

Conclusões

Primeiramente, através da revisão da literatura, foi possível confirmar a importância do planejamento e da elaboração de bons projetos de perfuração na obtenção de operações de campo mais eficientes, reduzindo o tempo perdido com anormalidades e, conseqüentemente, controlando o custo do poço. Além disso, diversos trabalhos consultados evidenciaram a relevância da análise de dados de poços já perfurados como fonte de conhecimento e aprendizado para elaboração de novos projetos.

Consciente da importância desse estudo e diante do atual cenário, onde é grande o montante de dados gerados por operação, sendo os mesmos muitas vezes pouco aproveitados, foi proposta a aplicação de uma metodologia para analisar dados de perfuração e estudar o comportamento de anormalidades. O objetivo da metodologia apresentada era extrair o conhecimento adquirido nas operações de campo, transformando dados gerados em informações que permitissem aos projetistas melhor conhecer as peculiaridades do campo analisado.

A metodologia proposta focou no estudo de anormalidades na tentativa de identificar características importantes na perfuração de cada fase de um poço em um dado campo. Para tanto, a utilização de diversas fontes mostrou-se fundamental, de maneira a garantir o total entendimento de cada evento analisado (boletins e dados *mudlogging*).

Uma das etapas mais difíceis do processo foi justamente agregar todas essas informações de maneira a entender a operação como um todo, já que essas fontes por vezes apresentam informações incompletas e, muitas vezes, até erradas. Muitos dos tempos não produtivos identificados nos gráficos arara, por exemplo, não tinham ocorrências associadas descritas nos boletins nem mesmo nos relatórios de perfuração, dificultando muitas vezes a identificação de um problema.

Uma vez organizados os dados, no entanto, a aplicação da metodologia se mostrou simples e eficiente. A relativa facilidade de manipulação dos dados considerados e a obtenção de resultados coerentes com o conteúdo apresentado na revisão da literatura demonstraram a aplicabilidade e a funcionalidade desta metodologia no sentido de adquirir conhecimento sobre o campo estudado.

A análise individual de cada poço permitiu compreender de maneira mais detalhada o andamento de cada operação, verificando indícios de ocorrência de problemas, causas e conseqüências. Agregando as informações obtidas isoladamente para cada poço foi possível melhor compreender as peculiaridades do campo como um todo, obtendo informações relevantes na elaboração de novos projetos, como direção preferencial para trajetória, tipo de fluido, entre outras.

Dos parâmetros selecionados para análise (azimute, inclinação, tipo de fluido e ECD), alguns tiveram resultados evidentes sobre sua influência na ocorrência de problemas geomecânicos, como no caso do azimute, onde foi identificada uma direção crítica com maior incidência de eventos anormais. Apenas os dados de ECD apresentaram maior dificuldade na identificação de uma correlação com as anormalidades encontradas nos poços. Os valores de gradiente de fratura estimados não foram compatíveis com os dados dos testes de absorção realizados e, em alguns casos, observou-se pressões de poros bem acima do ECD sem nenhum indício de *kick* no poço (mesmo em formações permeáveis), indicando que provavelmente os valores estimados estavam errados.

No entanto, analisando o poço onde havia proximidade entre as curvas de ECD e pressão de poros (assumindo como a curva de colapso inferior, já que não existem dados sobre esta última), foi possível verificar diversos indícios de instabilidade geomecânica, o que permitiu verificar que o poço provavelmente foi perfurado com peso de fluido inadequado.

Os resultados obtidos demonstraram ainda que alguns parâmetros têm influência mais significativa do que outros na ocorrência de problemas. Entre aqueles considerados mais importantes, estão o azimuth e o peso do fluido de perfuração (através do ECD), mesmo com a dificuldade encontrada para análise deste último, ficou evidente que esses dois fatores estão diretamente relacionados com as condições de estabilidade do poço.

Ainda sobre a análise realizada, a utilização de duas variáveis para análise, tempo não-produtivo e repasses, aumentou a confiabilidade dos resultados. A obtenção de comportamentos semelhantes considerando duas fontes distintas de dados (boletins e dados de *mudlogging*) reduz as chances de obter resultado equivocado.

Como resultado final do estudo de caso utilizando dados reais e aplicando a metodologia proposta, foi possível obter informações de relevância para elaboração de novos projetos, por fase perfurada. Esse estudo permite que o conhecimento adquirido em operações de campo seja aplicado de maneira sistematizada e, com isso, o processo de perfuração se torne mais eficiente, não só no sentido de evitar problemas, mas também para otimizar a configuração de um poço, reduzindo assim, o custo operacional.

Outro ganho com esta metodologia é que ela pode ser aplicada por qualquer profissional da área, permitindo que qualquer projetista, mesmo sem muita experiência operacional, consiga ter uma idéia das características do campo e de informações relevantes a serem consideradas nos projetos. Esta é uma vantagem significativa na atual realidade, onde a quantidade de novos profissionais é crescente e existe um *gap* entre esses e os especialistas mais experientes, onde está concentrada a maior parte do atual conhecimento operacional.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se:

- Aplicar técnicas de inteligência artificial ou outros métodos para automatizar e melhorar este processo de análise de dados, já que este trabalho se trata de um estudo inicial contendo apenas a concepção da idéia;
- Utilizar de dados de *caliper* como sendo mais uma variável (além do tempo não-produtivo e dos repasses) para analisar a influência dos parâmetros estudados na ocorrência de problemas geomecânicos;
- Utilizar uma amostra maior de dados, consolidando de maneira ainda mais efetiva a aplicação da metodologia proposta;
- Considerar amostra de poços de outros campos para verificar se o mesmo padrão de resultados é obtido para as demais regiões, inclusive em áreas *onshore*.

Referências Bibliográficas

Aadnoy, B.S. Modern well design. Gulf Publishing Company, Houston, 1997.

Adams, N.J.; Charrier, T. Drilling Engineering: A Complete Well Planning Approach. Pennwell Publishing Company, Tulsa, 1985.

Adeleye, A.R.; Virginillo, B.K.; Iyoho, A.W.; Parenteau, K.; Licis, H. Improving Drilling Performance Through Systematic Analysis of Historical Data: Case Study of a Canadian Field. In: SPE/IADC Drilling Conference, Dallas, 2004.

Aldred, W. *et al.* Managing Drilling Risk. Oilfield Review, Summer Edition, 1999.

Bratton, T. *et al.* Avoiding Drilling Problems. Oilfield Review, Summer Edition, 2001.

Cardoso Jr., J.V. *Diagnóstico de Problemas em Poços Direcionais Durante as Manobras*. Campinas, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, 1992. Dissertação de Mestrado. 77p.

Charlez, P.A.; Onaisi, A. Three History Cases of Rock Mechanics Related Stuck Pipes While Drilling Extended Reach Wells in North Sea. In: SPE/ISRM Eurock, Trondheim, 1998.

Chen, X.; Tan, C.P.; Haberfield, C.M. Wellbore Stability Analysis Guidelines for Practical Well Design. In: SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference, Adelaide, 1996.

- Clay, T.; Hatch, A. A New Well Design and Construction Process. In: SPE/ADC Middle East Drilling Technology Conference, Abu Dhabi, 1999.
- Gil, I.; Roegiers, J. Borehole Design: Stability Considerations. In: SPE/ISRM Rock Mechanics Conference, Irving, 2002.
- Hassan, S.; Klimentos, T.; Badri, M.; Sengul, M.; Zeid, A. Optimizing Drilling Performance By Wellbore Stability Evaluation And Directional Drilling Practices. In: SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference, Abu Dhabi, 1999.
- Idagawa, L.S. *Estudo do Diagnóstico de Problemas na Perfuração de Poços Direcionais*. Campinas, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, 1990. Dissertação de Mestrado. 201p.
- Iyoho, A.W.; Adeleye, A.; Virginillo, B.; Hooland, K. Managing Drilling Performance Technical Analysis, Well Challenges and Field Engagement. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, 2005.
- Iyoho, A.W.; Millheim, K.K.; Virginillo, B.K.; Adeleye, A.R.; Crumrine, M.J. Methodology and Benefits of a Drilling Analysis Paradigm. In: IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, 2004.
- Lagreca, A.J.; Damski, C.; Peden, J.; Nakagawa, E. The Role of Knowledge, Tools and Systems for Drilling Analysis. In: IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Kuala Lumpur, 2004.
- Mannon, D.C. Reducing Well Costs by Increasing Drilling Efficiency. In: AADE National Conference Technical Conference, Houston, 2001.
- Mendes, J.R.P. *Raciocínio Baseado em Casos Aplicado ao Projeto de Poços de Petróleo*. Campinas, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, 2001. Tese de Doutorado.

- Millheim, K.; Maidla, E.; Kravis, S. An Example of the Drilling Analysis Process for Extended Reach Wells. In: SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, 1998.
- Miura, K. *Um Estudo sobre Segurança Operacional na Construção e Reparo de Poços Marítimos de Petróleo*. Campinas, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Tese de Doutorado.
- Miura, K.; Guilherme, I.R.; Morooka, C.K.; Mendes, J.R.P. Processing Technical Daily Reports in Offshore Petroleum Engineering - An Experience. *Journal of Advanced Computational Intelligence*, Tokyo, Japão, v. 7, n. 2, p. 223-228, 2003.
- Mohiuddin, M.A.; Awal, M.R.; Abdulraheem, A.; Khan, K. A New Diagnostic Approach to Identify Causes of Borehole Instability Problems in an Offshore Arabian Field. In: SPE Middle East Oil Show, Bahrain, 2001.
- Nakagawa, E.; Damski, C.; Miura, K. What is the Source of Drilling and Completion Data? In: Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Jakarta, 2005.
- Newman, H.E.; Roberts, C.M.; Biegler, M.W. How Integrated Well Planning, Technology and Operations Excellence Impact ExxonMobil's Development Well Results. In: SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, 2005.
- Santarelli, F.J.; Zaho, S.; Burrafato, G.; Zausa, F.; Giacca, D. Wellbore Stability Analysis Made Easy and Practical. In: SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, 1996.
- Sato, A. *Sistema Inteligente para Elaborar um Projeto de Perfuração de um Poço de Petróleo*. Campinas, Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, 1992. Dissertação de Mestrado.
- Thorogood, J.L.; Hoode, F.; Lofsgaard, D. Risk Management in Exploration Drilling. In: SPE International Conference on Health, Safety and the Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Stavanger, 2000.

Anexo I. Dicionário de Problemas de Perfuração

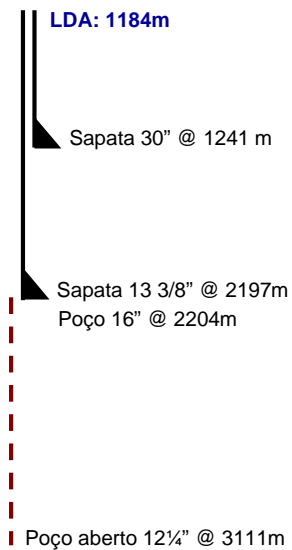
Conceito	Restrição	Problema
abort_perfil		Reparo outros equipamentos
aguard_cond_meteorológ		Aguardando condições meteorológicas
aguard_cond_mar		Aguardando condições meteorológicas
arr_trech		Drag elevado
chec_drag		Drag elevado
cisalh_parafus_top_driv		Reparo sonda
perfil_contat_falt		Reparo outros equipamentos
corrig_balanc_colun_ris		Reparo sonda
desencer_bha		Enceramento
desentup_linha_hall		Reparo outros equipamentos
efetu_back		Repasse
elev_press		Pressão elevada
excess_drag		Drag elevado
excess_torqu		Torque excessivo
extra_sól_circul		Circulando para limpeza do poço
instal_cunh_hidrául_nega		Reparo sonda
consequ_sem_desvi_poç		Falha no desvio do poço
falh_lwd		Reparo outros equipamentos
falh_mwd		Reparo outros equipamentos
defeit_sinal_perfil		Reparo outros equipamentos
falh_sistem_acús		Reparo sonda
realiz_lock_unlock_sem_sucess		Reparo sonda
test_contr_gavet_tub_sem_sucess		Reparo sonda
limp_poç		Circulando para limpeza do poço
latch_nega		Reparo outros equipamentos
test_linha_kill_nega		Reparo outros equipamentos
test_linha_chok_nega		Reparo outros equipamentos
pack_hidrául	susp_evita	Packer hidráulico
perd_form	não_constat_sem	Perda de circulação
perd_press	aument	Queda de pressão
perd_program_sistem_hitec		Reparo sonda
perd_torqu		Perda de torque
permit_não_junta_fech_elev		Reparo sonda
permit_não_it_fech_elev		Reparo sonda
pesc_peix		Pescaria
pres_ferrament		Prisão de ferramenta
pres_housing_mesa_rota		Reparo outros equipamentos
presa_colun	liber	Prisão de coluna
mont_aloj_sem_sucess		Reparo outros equipamentos
problem_ferrament_amostr		Reparo outros equipamentos
test_funç_bop_nega		Reparo outros equipamentos
problem_posicion_dinam		Reparo sonda
problem_lwd		Reparo outros equipamentos
mont_running_tool_sem_sucess		Reparo outros equipamentos
problem_orient_geopilot		Reparo outros equipamentos

Conceito	Restrição	Problema
perfil_sem_sucess		Reparo outros equipamentos
problem_rov		Reparo outros equipamentos
qued_press		Queda de pressão
reduz_press		Queda de pressão
repass_pont		Repasse
repass_seç		Repasse
repass_trech		Repasse
resist_batent		Batentes
resist_pont		Drag elevado
troc_pist_bomb_lam		Reparo sonda
venc_restr		Drag elevado
repass_drag		Drag elevado
inoper_bomb_boost		Reparo sonda
encer_bha		Enceramento
circul_limp		Circulando para limpeza do poço
desc_colun_dificuld		Drag elevado
desc_revest_dificuld		Drag elevado
pris_colun		Prisão de coluna
perd_sinal_perfil		Reparo outros equipamentos
perd_sinal_amostr		Reparo outros equipamentos
pesc		Pescaria
perd_sinal_MWD		Reparo outros equipamentos
problem_MWD		Reparo outros equipamentos
elev_drag		Drag elevado
pack_hidrául_susp		Packer hidráulico
top_colun		Drag elevado
trabalh_restr		Drag elevado
defeitu_sinal_perfil		Reparo outros equipamentos
isol_baix_conec_perfil		Reparo outros equipamentos
repar_top_driv		Reparo sonda
repar_bomb_lubrific_guinch		Reparo sonda
repar_mwd		Reparo outros equipamentos
repar_lwd		Reparo outros equipamentos
repar_perfil		Reparo outros equipamentos
repar_rci		Reparo outros equipamentos
repar_giraf		Reparo sonda
repar_elev		Reparo sonda
repar_pont_rol		Reparo sonda
repar_bomb_lam		Reparo sonda
repar_linha_aliment_sil_ciment		Reparo outros equipamentos
vaz_top_driv		Reparo sonda
repar_mud_log		Reparo outros equipamentos
repar_geolograph		Reparo sonda
repar_control_pod_bop		Reparo outros equipamentos
repar_corr_hos_reel		Reparo sonda
repar_guind		Reparo sonda
repar_motor_guinch_perfur		Reparo sonda
repar_pin_slip_joint		Reparo outros equipamentos

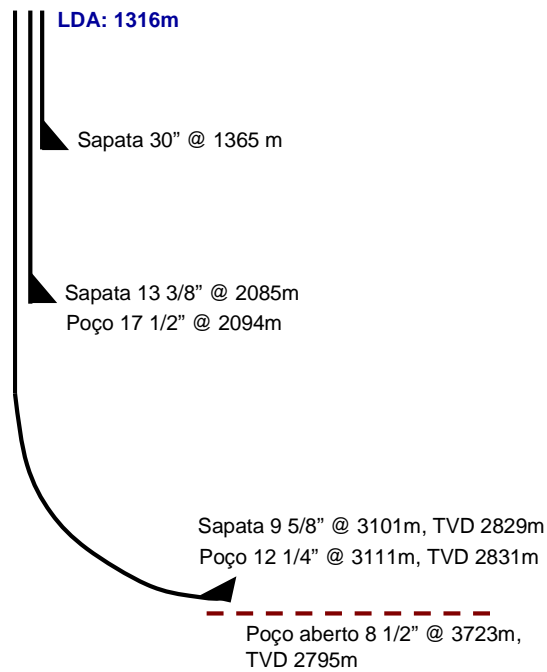
Conceito	Restrição	Problema
repar_ris_cart		Reparo sonda
repar_gantry_cran		Reparo sonda
repar_sistem_transfer_ciment		Reparo outros equipamentos
repar_sistem_hidrául_bop		Reparo outros equipamentos
repar_sistem_hidrául_top_driv		Reparo sonda
repar_sistem_hitec		Reparo sonda
repar_son		Reparo sonda
repar_pin_trav		Reparo outros equipamentos
substitu_mwd		Reparo outros equipamentos
substitu_lwd		Reparo outros equipamentos
substitu_rci		Reparo outros equipamentos
substitu_mangu_hidrául		Reparo sonda
troc_válvul_seguranç_bomb_lam		Reparo sonda
substitu_bomb		Reparo sonda
vaz_linh_conduit		Reparo outros equipamentos
substitu_válvul_standpip		Reparo sonda
substitu_motor		Reparo sonda
substitu_seç_danific_top_driv		Reparo sonda
substitu_gr		Reparo outros equipamentos
substitu_pow_driv		Reparo sonda
substitu_ring_trav_buch_nom		Reparo sonda
vaz_perfil		Reparo outros equipamentos
vaz_catch_walk_machin		Reparo sonda
vaz_hidrául_pip_handl		Reparo outros equipamentos
vaz_interfac_fdr_fianmh		Reparo outros equipamentos
vaz_unidad_ciment		Reparo outros equipamentos
vaz_válvul_control_press_sil		Reparo outros equipamentos
vaz_gavet		Reparo outros equipamentos
vaz_gavet_bop		Reparo outros equipamentos
vaz_orifíci_housing		Reparo outros equipamentos
vaz_linh_chicksan		Reparo outros equipamentos
vaz_hidrául		Reparo outros equipamentos
falh_sinal_MWD		Reparo outros equipamentos
falh_sinal_LWD		Reparo outros equipamentos

Anexo II. Esquema dos Poços Analisados no Estudo de Caso

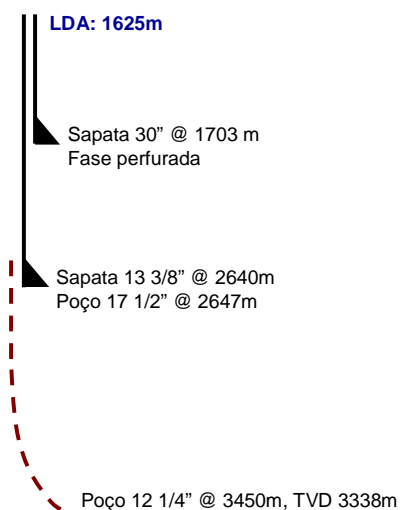
Esquema Poço 1 (vertical)



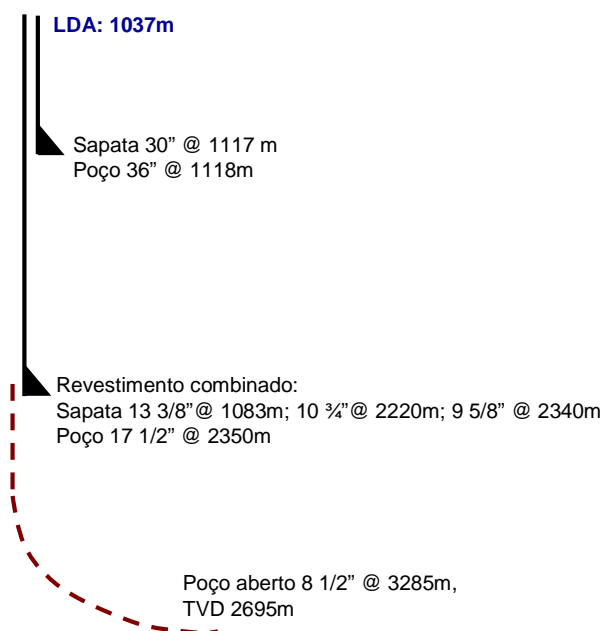
Esquema Poço 2 (horizontal)



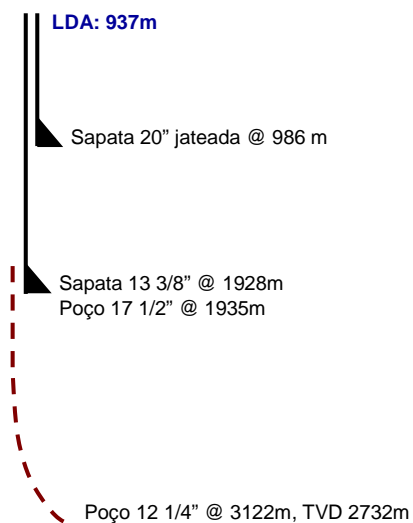
Esquema Poço 3 (piloto direcional)



Esquema Poço 4 (horizontal partilhado)



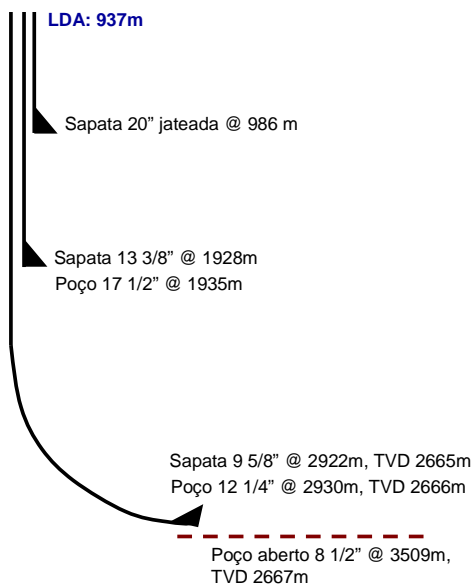
Esquema Poço 5 (piloto direcional)



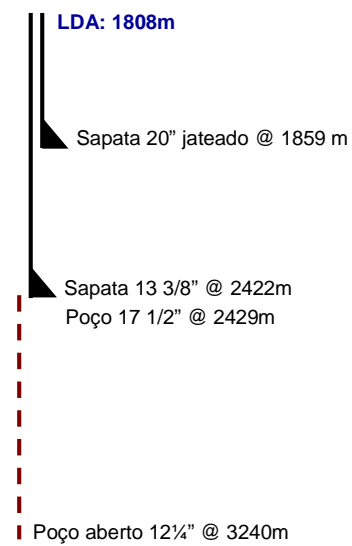
Esquema Poço 6 (vertical)



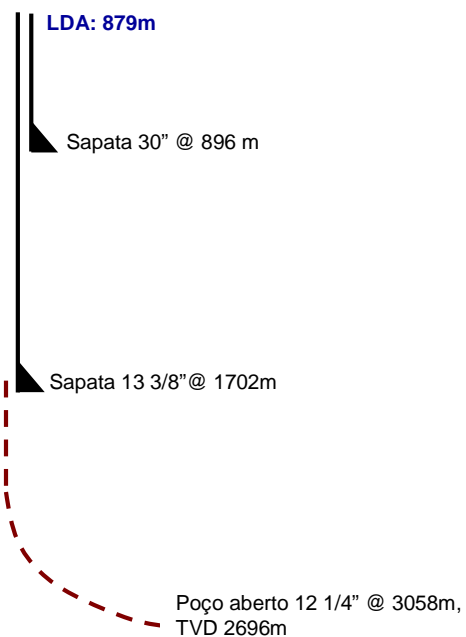
Esquema Poço 7 (horizontal)



Esquema Poço 8 (vertical)



Esquema Poço 9 (horizontal partilhado))



Anexo III. Gráfico de Pareto dos Problemas Identificados

